PRZEGLĄD FIZJOLOGJI RUCHU

KWARTALNIK POŚWIĘCONY NAUKOWYM ZAGADNIENIOM WYCHOWANIA FIZYCZNEGO SPORTU I PRACY

ORGAN RADY NAUKOWEJ W. F.

REDAKTOR: Doc. Dr. WŁODZIMIERZ MISSIURO

ROK VII WARSZAWA, PAŹDZIERNIK—MAJ 1935/36 Nr. 3-4

(Pracownia Fizjologji Wychowania Fizycznego i Sportu Zakładu Fizjologicznego Uniw. Józefa Piłsudskiego w Warszawie. Dyrektor Zakładu Prof. Dr. Fr. Czubalski).

Fr. Czubalski.

WPŁYW ĆWICZEŃ CIELESNYCH NA NIEKTÓRE PRZEJAWY CZYNNOŚCI AUTONOMICZNEGO UKŁADU NERWOWEGO.

Wpłynęło 20.III.1936.

Influence des exercices physiques sur le fonctionnement du système nerveux autonomique.

L'auteur décrit, en se référant aux observations faites par *E. Reicher* et d'autres, les conditions dans lesquelles un état vagotonique peut apparaître après l'exercice physique. Tout en se basant sur ses propres recherches en 1930 (C. R. Soc. de Biol., Tome CIV, pp. 899 et 902), il exprime l'opinion que la cause des changements dans la tension du système autonomique provoqués par l'exercice physique réside dans l'acidification des tissus dont naît une tendance descendante du pH du sang; ceci, de son côté, amène l'hyperpnoe qui ensuite fait monter le pH du sang, c'est à dire en fait accroître l'alcalinité. Ces changements font donc apparaître directement après l'exercice un état de sympathicotonie avec un pH du sang très bas, mais aboutissent indirectement à un état de vagotonie avec un pH du sang haut. Ainsi, le

changement qui se produit immédiatement après l'exercice c'est la sympathicotonie, la vagotonie n'étant qu'un phénomène secondaire et tardif (après 2 minutes ou plus). Puisque la vagotonie c'est un phénomène secondaire qui dépend des conditions antérieures, on ne saurait la considérer comme un état caractéristique lié à tout exercice physique; c'est pourquoi elle peut se manifester d'une manière faible ou même n'apparaître point.

W monografji „o działaniu ćwiczeń cielesnych na ustrój ludzi zdrowych i chorych" *E. Reicher*[1]) zwraca, na podstawie obcych i własnych danych, szczególną uwagę na zachowanie się tętna po ćwiczeniach cielesnych. Autorka spostrzegała w tych warunkach w wielu przypadkach zwolnienie tętna, które występowało bardzo szybko, bo w ciągu 1—2 minut po początkowem, zjawiającem się już podczas ćwiczeń lub natychmiast po ich ukończeniu, przyśpieszeniu tętna. To zwolnienie tętna zależne jest, zdaniem autorki, od zwiększonego wtedy napięcia ośrodków nerwu błędnego, o czem sądzi ona na podstawie wyników porównawczych pomiarów odruchu okosercowego metodą *Santenoise'a.* Spostrzeżeniu temu autorka przypisuje duże znaczenie, uważając zjawisko zwolnionego tętna w następstwie ćwiczeń cielesnych za objaw wybitnie charakterystyczny w zakresie odczynów fizjologicznych na pracę fizyczną i wyciąga na podstawie przebiegu tego odczynu daleko idące wnioski zarówno co do rodzaju i natężenia przemian, zachodzących w tych warunkach w ustroju, jak i samej konstytucji wegetatywno-nerwowej danego osobnika. *E. Reicher,* analizując dane przemiany materji oraz pewne cechy fizjologiczne osób, wykonujących wysiłki fizyczne mniej lub więcej sporadycznie, bądź takich, które należą do kadry sportowców o różnym stopniu zaprawy, mówi wyraźnie o powstawaniu wśród tych ludzi stanu zwiększonego napięcia nerwu błędnego, jako fizjologicznego wyrazu przystosowywania się ustroju do nowych warunków. Stan taki może nawet w niektórych przypadkach przejść w wagotonję patologiczną. Zwiększenie się ilości potasu we krwi po pracy mięśniowej,

---

[1]) *E. Reicher* — O działaniu ćwiczeń cielesnych na ustrój ludzi zdrowych i chorych, Warszawa, 1932.

naruszenie fizjologicznej równowagi stosunku $\frac{K}{Ca}$ może być właśnie traktowane, według autorki, jako wyraz przewagi nerwu błędnego w tych przypadkach, podobnie jak spostrzegane w okresie wzmożonej zaprawy ustroju powiększenie zasobu zasad we krwi oraz zwolnienie czynności serca i niższe ciśnienie krwi. Według *Curschmanna* ten stan fizjologicznej jeszcze hypotonji w przypadkach wzmożonej pracy fizycznej jest nawet korzystny dla ustroju, który mniej się wtedy podczas pracy zużywa. Znaczne natomiast nasilenie wagotonji, graniczące ze stanem patologicznym, przejawia się przedewszystkiem w stanie serca, które jest duże, wiotkie, o słabych skurczach i głuchych tonach, a ciśnieniu krwi bardzo znacznie obniżonem. Nie zajmując się w tej chwili krytyką stosowanych przez autorkę metod, mających stwierdzić, jako stałą cechę fizjologiczną sportowca, istnienie u tych osobników pewnego stopnia wagotonji, bądź przynajmniej skłonności do tego oraz nie poddając w tem miejscu szczegółowej analizie całego materjału doświadczalnego, zdobytego przez autorkę i zamkniętego w szereg tablic, zaznaczam jedynie, że spostrzeżenia te są niewątpliwie bardzo interesujące i jako takie wymagają głębszego zastanowienia się nad pośredniemi i bezpośredniemi przyczynami, które je wywołują. Faktem jest, dającym się zauważyć nawet przy bardziej powierzchownym przeglądzie materjału doświadczalnego *E. Reicher,* o czem zresztą ona sama wspomina, że nie we wszystkich przypadkach zjawisko wagotonji występuje, a nawet tam gdzie ono daje się zauważyć, natężenie tego odczynu oraz jego przebieg w czasie bywa bardzo różny.

Zastanawiając się nad rodzajem i kierunkiem przemian chemicznych w ustroju ćwiczącym, należy uznać za najbardziej tutaj stałą i charakterystyczną cechę pewien stopień zakwaszenia, zachodzący początkowo w samej pracującej tkance mięśniowej na skutek produkcji kwasu, w szczególności kwasu mlecznego. Należy coprawda zaznaczyć, że mięsień posiada dużą i sprawnie działającą zdolność neutralizowania powstającego w nim kwasu mlecznego. Neutralizacja ta odbywa się różnemi sposobami, zarówno dzięki obecności w mięśniu soli nieorganicznych jak, i to głównie, dzięki istnieniu w nim luźnych zjonizowanych połączeń białkowo-zasadowych. Pewną rolę w tym procesie odgrywa także powstająca podczas skurczu z rozpadu

fosfagenu kreatyna o silnie zasadowych własnościach, wreszcie zjawiają się przy dłuższej czynności mięśni małe ilości amonjaku. W miarę jednak trwania wysiłku fizycznego a także w zależności od jego natężenia i liczby wciągniętych w grę mięśni, choćby wysiłek ten należał nawet do krótkotrwałych, nagromadza się powoli w mięśniach wolny kwas i zaczyna przenikać do krwi, wiążąc się tutaj z zasadami, których zasób przez to maleje. *Reicherówna* podaje w powołaniu się na *Walińskiego*, że rezerwa alkaliczna spada równolegle do ilości kwasu mlecznego, nagromadzającego się we krwi skutkiem pracy mięśniowej. Po uciążliwych krótkich biegach, zasób zasad we krwi spada jeszcze przez 8 minut po biegu w związku z postępującem ciągle zakwaszeniem tkanek i krwi. Dla naszych rozważań i wniosków, jakie będzie można wyciągnąć, wzmiankowana wyżej produkcja kwasu mlecznego przez mięsień pracujący ma ze względu na dalsze zachowanie się tego kwasu we krwi znaczenie donioślejsze niż zjawiający się także, w związku z poszczególnemi okresami przemian chemicznych w mięśniu pracującym, kwas węglowy, gdyż kwas ten szybko i łatwo opuszcza ustrój drogą krwi i narządów oddechowych. Rozumie się, że wobec istnienia mechanizmów chemicznych wyrównawczych w samej krwi nie dochodzi nigdy w warunkach fizjologicznych do istotnego zakwaszenia ustroju, czyli do obniżenia pH poniżej dolnego, normalnego poziomu, t. j. pH około 7,3. Szczegółowe jednak, w różnych warunkach fizjologicznych wykonane pomiary koncentracji jonów wodorowych we krwi wskazują, że pH krwi, nie przekraczając oczywiście swego normalnego górnego czy dolnego poziomu, ulega przecież pewnym wahaniom. Dla wahań tych, które niewątpliwie są wyrazem zachodzących w ustroju procesów chemiczno-fizjologicznych i związanych z tem niewielkich przesunięć w równowadze kwasowo-zasadowej krwi, dadzą się stwierdzić doświadczalnie ściśle określone warunki a nawet i bezpośrednie przyczyny. W pracach moich, ogłoszonych w 1930 r. [2]) przytoczyłem dane, oparte na licznym materjale doświadczalnym, wskazujące, że wahanie koncentracji jonów wodorowych we krwi jest stałą i charakterystyczną cechą chwilowej prze-

---

[2]) *Fr. Czubalski* — Wpływ podrażnień nerwu błędnego i współczulnego na liczbę płytek Bizzozero i ciałek białych, stężenie jonów wodorowych (pH) krwi oraz jej krzepliwość i współczynnik refraktometryczny. Med. Dośw. Społ. T. XI, W-wa, 1930.

wagi nerwu błędnego nad współczulnym i odwrotnie, wywołanej w doświadczeniu drażnieniem prądem elektrycznym jednego z tych nerwów. Wahania pH krwi są bardzo wyraźne, a co do kierunku swego zawsze stałe i zależne od rodzaju nerwu, którego podrażnienie je spowodowało.

Wyniki moich badań były na tyle jasne, iż nie budzą żadnej wątpliwości. Dadzą się one streścić w ten sposób, że każdorazowe podrażnienie nerwu błędnego wywołuje, jako jedną z cech charakterystycznych zwiększonego napięcia czynnościowego tego nerwu, zmniejszenie koncentracji jonów wodorowych we krwi, podwyższając w przypadkach najbardziej krańcowych pH z 7,38 do 7,69, co jest wyrazem przesunięcia odczynu krwi w stronę zwiększonej zasadowości. Reakcję wprost odwrotną pod tym względem obserwowałem po zadrażnieniu nerwu współczulnego, gdzie pH krwi wyraźnie się obniżało w granicach 7,73 — 7,51, wskazując na zwiększenie się w tych przypadkach koncentracji jonów wodorowych. Spotęgowanie się więc napięcia układu współczulnego daje w przeciwieństwie do nerwu błędnego przesuwanie się odczynu krwi w kierunku zmniejszonej zasadowości, co wskazuje na tendencję do zakwaszenia. Dla ilustracji przytoczę tu w wyjątkach niektóre z moich na ten temat doświadczeń (patrz tabl. I i II).

Ponieważ tym stałym dla nerwu błędnego lub współczulnego zmianom w stężeniu jonów wodorowych towarzyszą zawsze, jak się przekonałem, inne jeszcze swoiste odczyny fizjologiczne np. wahania liczby ciałek białych i płytek *Bizzozero,* zmiany krzepliwości krwi oraz zmiany wskaźnika refraktometrycznego surowicy, przeto nie ulega wątpliwości, że cały ten zespół odczynów łącznie ze zmianą wartości pH dla krwi, stanowiąc pewien charakterystyczny wyraz zwiększonej w danym momencie czynności jednego z omawianych nerwów, może być uważany za zupełnie pewny wskaźnik każdorazowego fizjologicznego stanu autonomicznego układu nerwowego badanego osobnika. Jest tutaj także okolicznością interesującą fakt, że zgodnie z istniejącemi obecnie poglądami o wzajemnym zupełnym lub przynajmniej częściowym antagoniźmie układu sympatycznego i parasympatycznego, ten antagonizm daje się również zauważyć i w zespole spostrzeganych przeze mnie odczynów obu tych nerwów. Dla oceny wartości uzyskanych na tem polu wyników nie bez znaczenia są również fakty, stwierdzone w innej

TABLICA I.

Drażnienie nerwu błędnego.

Excitation du nerf vague (pneumogastrique).

			Płytki Bizzozero *Nombre des plaquettes de Bizzozero en rapport avec les erythrocytes (E)*	Ciałka białe *Leucocytes*
Pies — *Chien*	norma w *en norme dans la*	v. jug.	42:1000E	14400
	drażnienie przez *excitation pendant*	30″	28:1000E	7100
Pies — *Chien*	norma w *en norme dans la*	v. jug.	42:1000E	6400
	drażnienie przez *excitation pendant*	1′	—	—
	po — *après*	2′—3′50″	18:1000E	3100
	po — *après*	21′	10:1000E	—
Królik — *Lapin*	norma w *en norme dans la*	v. jug.	106:1000E	—
	drażnienie przez *excitation pendant*	30″	—	—
	po — *après*	30″	80:1000E	—

		pH	% zawartość białka surowicy krwi oznaczona refraktometrem *Le °/o d'albumine du serum déterminé par le refractomètre*		Czas krzepnięcia krwi — *Le temps de la coagulation du sang*: norma *en norme*	Czas krzepnięcia krwi — *Le temps de la coagulation du sang*: po drażnieniu n. błędnego *après l'excitation d. n. vague*
norma w *en norme dans la*	art. carot.	7,52	5,97	Królik — *Lapin*	5′50″	8′03″
drażnienie przez *excitation pendant*	25″	—	—		6′35″	7′20″
po — *après*	40″	7,63	5,86		—	8′46″
po — *après*	2′41″	7,59	5,90		6′45″	9′57″
norma w *en norme dans la*	art. carot.	7,38	6,40	Królik — *Lapin*		
drażnienie przez *excitation pendant*	30″	—	—			
po — *après*	25″	7,61	5,95			
drażnienie przez *excitation pendant*	20″	—	—			
po — *après*	20″	7,61	5,90			

TABLICA II.

Drażnienie nerwu współczulnego na szyi.

Excitation du nerf sympathique au cou.

		Płytki Bizzozero *Nombre des plaquettes de Bizzozero en rapport avec les erythrocytes E*	Ciałka białe *Leucocytes*	
norma w *en norme dans la*	v. jug.	112:1000E	—	Królik — *Lapin*
drażnienie przez *excitation pendant*	1″	—	—	
po — *après*	55″	136:1000E	—	
norma w *en norme dans la*	v. jug.	48:1000E	7000	Królik — *Lapin*
drażnienie n. l. symp. na szyi przez *excitation n. sympathique g. pendant*	1′	—	—	
po — *après*	1′20″	72:1000E	—	
po — *après*	1′55″	—	14000	

		pH	% zawartość białka surowicy krwi oznaczona refraktometrem *Le % d'albumine du serum déterminé par le refractomètre*		Czas krzepnięcia krwi *Le temps de la coagulation du sang.* norma *en norme*	Czas krzepnięcia krwi *Le temps de la coagulation du sang.* po drażnieniu n. sympatycznego *après l'excitation d. n. symp.*
norma *en norme*		7,65	5,68	Królik — *Lapin*	—	3′54″ 2′37″
drażnienie nieprzeciętego n. s. przez *excitation pendant*	30″	—	—		5′30″	4′10″
po — *après*	20″	7,64	5,68		6′40″	3′30″
norma *en norme*		7,69	—	Królik — *Lapin*		
drażnienie nieprzeciętego s. n. przez *excitation pendant*	30″	—	—			
po — *après*	25″—30″	7,61	—			
norma *en norme*		—	5,60	Królik — *Lapin*		
drażnienie k. dosercow. przez *excitation pendant*	30″	—	—			
po — *après*	1′	—	6,01			

serji moich badań [3]). Okazało się bowiem, że cały zespół najbardziej charakterystycznych dla sztucznego drażnienia nerwu błędnego zmian występuje również wyraziście w przypadkach nietylko sztucznego podrażnienia, lecz i fizjologicznie zwiększonego napięcia tego nerwu, mianowicie w okresie trawienia, t. j. wywołanego, na drodze odruchów warunkowych w znaczeniu *Pawłowa,* czy odruchów zwykłych, — wydzielania soków trawiennych, w szczególności soku żołądkowego, gdzie decydującą właśnie rolę odgrywa pobudzenie nerwu błędnego.

Zmieniające się więc w ustroju z różnych zresztą powodów napięcie układu nerwu błędnego i współczulnego, prowadząc do wyraźnej przewagi w danym momencie jednego z tych nerwów, wytwarza jednocześnie przesunięcie się stężenia jonów wodorowych we krwi w kierunku zasadowości lub kwasoty. Tego rodzaju zmiany oddziaływują jednak natychmiast na stan pobudzenia, wrażliwego na stopień stężenia jonów wodorowych we krwi, ośrodka oddechowego. Jak wiadomo, najmniejszy nawet przyrost stężenia jonów wodorowych, pobudzając ośrodek oddechowy, powoduje nasilenie czynności klatki piersiowej, zwiększając wentylację płucną i potęgując usuwanie kwasu węglowego, którego ciśnienie w powietrzu pęcherzyków płucnych wtedy spada. W przypadku odwrotnym, t. j. gdy pH krwi wzrasta, pobudliwość ośrodka oddechowego maleje, co prowadzi do obniżenia wentylacji płucnej i tendencji do zatrzymywania kwasu węglowego we krwi. Jeden i drugi automatycznie i nadzwyczaj sprawnie działający mechanizm samoregulacji oddechowej wyrównuje samoistne w dość szerokich granicach, zależnych od zasobu t. zw. rezerw alkalicznych krwi w danym momencie, odchylenia od przeciętnego, fizjologicznego poziomu stężenia jonów wodorowych we krwi. Mając na uwadze podane tutaj stosunki i wzajemne zależności między napięciem nerwowego układu autonomicznego, stężeniem jonów wodorowych we krwi oraz nasileniem czynności oddechowej ustroju, może łatwiej nam będzie zorjentować się i próbować zrozumieć istotne bezpośrednie przyczyny obserwowanego przez *E. Reicherównę* zwiększonego napięcia nerwu błędnego po wysiłkach fizycznych.

---

[3]) *Fr. Czubalski* — Les changements des propriétés et de la composition du sang durant la digestion, en tout qu'expression du tonus du nerf pneumogastrique, C. R. d. S. d. l. S. Biol. T. CIV, p. 905.

Praca mięśniowa, jak już wspominaliśmy, związana jest stale z produkcją kwasu mlecznego, w pewnych stadjach przemian chemicznych w mięśniu, także kwasu węglowego. Przenikanie tych kwaśnych związków do krwi związane w przypadku kwasu mlecznego z wypieraniem CO_2 z jego naturalnych połączeń musi prowadzić do zwiększenia ciśnienia CO_2 we krwi, co automatycznie wywołuje stan hyperpnoë. W przypadkach bardzo dużego nasilenia pracy mięśniowej ten stan hyperpnoë utrzymuje się nawet pomimo spowodowanego wzmożoną wentylacją płucną spadku ciśnienia CO_2 w powietrzu pęcherzykowem, ze względu na gromadzenie się we krwi innych jeszcze kwaśnych produktów przemiany materji w mięśniu, a nawet daje się to zauważyć i po skończonej pracy mięśni, dopóki kwas mleczny nie zostanie całkowicie spalony. Wszelkie więc wysiłki mięśniowe, zwłaszcza jeżeli są dość znacznego natężenia albo przy mniejszem natężeniu trwają dostatecznie długo, stwarzają tendencję do obniżenia koncentracji jonów wodorowych we krwi. Stan ten jak wiemy, na podstawie streszczonych poprzednio wyników moich prac, jest jedną ze stałych i charakterystycznych cech zwiększonego napięcia układu współczulnego. Należy się więc liczyć z tem, że bezpośredniem następstwem pracy mięśniowej jest, wbrew przypuszczeniom *Reicherówny*, stan sympatykotonji a nie wagotonji ustroju. Jakże więc wytłumaczyć spostrzeganie wzmożonej wrażliwości nerwu błędnego, dające o sobie znać bezpośrednio lub pośrednio po zastosowaniu ucisku gałki ocznej w dość licznych przypadkach u osób, uprawiających gimnastykę czy sporty. Przedewszystkiem trzeba zaznaczyć, że objawy zwiększonej w tych warunkach wrażliwości nerwu błędnego niezawsze występują, a następnie, że tam gdzie można to zjawisko z całą pewnością zaobserwować, zjawiają się one nie bezpośrednio po dokonanym wysiłku lecz w późniejszym okresie np. w 1', 1'30'' do 2' po ćwiczeniu, nieraz, jak widać z tablic *Reicherówny*, najsilniejszą reakcję nerwu błędnego możemy zaobserwować właśnie dopiero w 2 albo i więcej minut. Fakty te wskazują, że pobudzenie nerwu błędnego przez wysiłek mięśniowy jest zjawiskiem późniejszem, a więc wtórnem i pośredniem. Zastanawiając się nad przyczynami, wywołującemi późną wagotonję w ustroju, pracującym fizycznie, musimy koniecznie wziąć pod uwagę wszystkie te, poprzedzające wzmożoną pobudliwość nerwu błędnego, zmiany, jakie zachodzą w ustroju ćwiczącym

od samego początku wykonywania ćwiczeń cielesnych. Wśród tych zmian najważniejszą niewątpliwie jest tendencja do zakwaszenia krwi z towarzyszącem wybitnem przyśpieszeniem tętna. Jak o tem już mówiliśmy zwiększenie stężenia jonów wodorowych we krwi stwarza automatycznie, przez przyśpieszenie i pogłębienie oddychania płucnego, warunki do zmiany tego stanu, powodując w różnym zresztą, zależnym od wielkości i długości wysiłku mięśniowego, czasie wyraźne odchylenia odczynu krwi w przeciwnym kierunku, t. j. ku wzmożeniu zasadowości. Ten zaś stan rzeczy, jak wiemy, jest równoznaczny ze zwiększeniem się napięcia nerwu błędnego. W opisanym więc łańcuchu przemian utajonych, zachodzących podczas i po ćwiczeniach cielesnych, mamy wyraźne przechodzenie stanu sympatykotonji w stan wagotonji, różnie silnie zresztą wyrażonej w poszczególnych przypadkach, odpowiednio do całokształtu warunków zewnątrz i wewnątrz ustrojowych oraz do podstawowej konstytucji wegetatywnego układu nerwowego danego osobnika. W tem ujęciu staje się zrozumiały fakt, że odruch okosercowy badany w 1'—2' po ćwiczeniach najsilniej występuje tam, gdzie bezpośrednio po wysiłku mięśniowym mieliśmy, jak widać z tablicy V pracy *Reicherówny,* największe przyśpieszenie tętna, co świadczy, że w tych przypadkach powstawały szczególnie korzystne warunki do wytwarzania się w następstwie silnego napięcia ośrodka nerwu błędnego. Gdzie tych warunków było mniej, tam też odruch okosercowy wypadał słabo lub go wcale nie było. Jasną jest również różnorodność odczynu okosercowego po ćwiczeniach, którą *Reicherówna* obserwowała, czy to jako odruch ujemny, czy nawet odwrócony, gdyż jest tu ścisła zależność kierunku i siły reakcji odruchowej od sumy wszystkich warunków, wpływających na stan napięcia nerwowego układu autonomicznego, jakie w każdym poszczególnym przypadku zaistnieją w chwili badania odruchu. Przyczem odwrócenie reakcji na odruch okosercowy mogłoby nasuwać przypuszczenie, że odruch ten niezawsze wyrażać się musi przez nerw błędny i że może on być raczej wskaźnikiem przewagi w danym momencie jednej części układu nerwowego nad drugą. W warunkach zwykłych, w stanie fizjologicznej równowagi, nerw błędny zdaje się być bardziej wrażliwy niż nerw współczulny. W innych zaś warunkach, np. po wybitnej pracy mięśniowej we wczesnych okresach, równowaga nerwowa może być tak dalece naruszona na korzyść

układu współczulnego, że wtedy odruch jest w swej reakcji odwrócony. Jeżeli chodzi o stany pewnej chronicznej wagotonji, jakie daje się zaobserwować u ludzi stale oddających się zaprawie cielesnej, to niewątpliwie mogą one powstać w związku z częstemi i wytężonemi ćwiczeniami fizycznemi, które, jak wynika z rozważań na temat okoliczności i przyczyn, powodujących zmiany napięcia poszczególnych części układu nerwowego wegetatywnego, nieraz stwarzają po temu odpowiednie warunki. Należałoby jednak pamiętać o tem, że stany wagotonji przejściowej lub stałej sportowców niekoniecznie mają w każdym przypadku wystąpić, lecz zjawiają się one tam tylko, gdzie zespół koniecznych warunków, o których wyżej mówiliśmy rzeczywiście zaistniał. Byłoby również rzeczą pożądaną, aby w przypadkach, klasyfikowanych klinicznie jako stany wagotoniczne, przeprowadzać dodatkowe badania składników morfotycznych oraz dotyczące niektórych właściwości fizyko-chemicznych krwi. Możnaby na tej drodze dokładniej sprecyzować i ustalić, czy mamy tutaj rzeczywiście do czynienia z typowym i charakterystycznym obrazem zmian, jakie na podstawie badań doświadczalnych cechują stany fizjologicznej sympatyko czy wagotonji.

Ujmując więc ogólnie całość zagadnienia, należy podnieść, że stan wagotonji ustroju oddającego się ćwiczeniom cielesnym nie jest bezpośrednio tychże ćwiczeń następstwem i nie jest szczególnie charakterystyczną cechą w tych przypadkach. Stan ten jako pośrednie jedynie następstwo, zachodzących pod wpływem pracy mięśniowej przemian chemiczno - fizjologicznych w ustroju, zjawia się dopiero w późniejszych okresach i czasem, w niesprzyjających ku temu warunkach, może go nawet wcale nie być. Najbardziej charakterystycznem dla pracy mięśniowej zjawiskiem zdaje się być raczej stan sympatykotonji, przechodzący dopiero powoli w wielu przypadkach w wagotonję. Pomimo tego oczywiście spotykane dość często wzmożenie napięcia nerwu błędnego, jako następstwo ćwiczeń cielesnych, może być oczywiście wyzyskane dla analizy i oceny zjawisk, zachodzących wtedy w ustroju, z temi zastrzeżeniami jednak, które wypływają z rozważań, przyczyn i związków, jakie istnieją między omawianemi faktami, co dopiero pozwala lepiej orjentować się w całokształcie zjawisk fizjologicznych, związanych z oddziaływaniem pracy mięśniowej na stan układu wegetatywnego.

(Zakład Fizjologji Centralnego Instytutu Wychowania Fizycznego
im. Pierwszego Marszałka Polski Józefa Piłsudskiego
i Pracownia Rady Naukowej Wychowania Fizycznego.
Kierownik Doc. Dr. W. Missiuro).

Trzaskowski Robert.

ZMIANY POWYSIŁKOWE W ELEKTROKARDJOGRAMIE W ZALEŻNOŚCI OD STOPNIA WYTRENOWANIA.

Eigenschaften des EKG nach Anstrengungen bei trainierten und untrainierten Personen.

Wpłynęło 23.I.1936.

Das Ziel unserer Forschungen war die charakteristischen Eigenschaften des EKG nach kurz und lang dauernden Anstrengung bei trainierten und nichttrainierten Individuen kennen zu lernen. Die Forschungen wurden an ausgezeichneten Sportsleuten, Schülern des C. I. W. F. und Kandidaten dieser Schule (Zentralinstitut für Leibeserziehung—Warschau) durchgeführt. Bei den Experimenten wurde ein übertragbarer Apparat der Firma „Victor" X-Ray Corporation Chicago angewendet, der in einem Raum unweit der Laufbahn installiert war. Die Untersuchungen fanden folgend statt: bei den Frauen nach 60 und 500 Meter Lauf, bei den Männern nach 100 und 1000 Meter Lauf in einer Zeit höchstens von 20 Sekunden nach Beendigung des Laufes.

Die allgemeine Zusammenstellung der Ergebnisse der Untersuchungen trainierter und nichttrainierter Individuen zeigt auf specifische Eigenschaften des EKG jeder der angeführten Gruppen hin.

Die Betrachtung dieser Eigenschaften bringt zu folgenden Schlüssen:

I. Bei nichttrainierten Individuen wurde nach der Anstrengung folgendes EKG - Bild festgestellt: 1) Die Zacke P verkleinert sich in der Abl. I und vergrössert sich in der Abl. II und III deutlicher als bei trainierten. 2) Die Zacke T vergrössert sich nach der Anstrengung bei den Nichttrainierten weniger als bei den Trainierten. 3) Die Ganze Herzevolution zeigt eine deutliche Verkürzung besondere nach einer langdauernden Anstrengung. Diese Verkürzung findet vorwiegend auf Kosten der elektropassiven Periode (T - P) (Herzpause) statt. 4) Die Ventrikelsystole (Phase Q - T) verkürzt sich besonders nach langdauernder Anstrengung auf Kosten des Abschnittes R - T (Systolenspannung)und des diastolischen Abschnittes(Phase der Zacke T). 5) Die Phase h (Atrio-ventriculäre Seitung) verkürzt sich ein wenig oder bleibt unverändert. 6) Die Phase der Zacke R verhält sich nach kurzdaeurnder Anstrengung verschieden, bei langdauernder Anstrengung aber verkürzt sie sich. 7) Die Sinusarrhythmia wurde nur in einem Falle konstatiert (nichttrainierter Mann). 8) Nach kurzem Lauf triff das Dextrogramm hervor (Verkleinerung des Index $\frac{R_1}{R_3}$. 9) Die Höhe der Zacke R verhält sich uneinheitlich.

II. Bei trainierten Individuen wurde im EKG - Bild folgendes festgestellt: 1) Die Zacke P verkleinert sich in Abl. I, dagegen vergrössert sie sich in Abl. II und III, aber im kleineren Grade als in der Gruppe Untrainierten. 2) Die Zacke T wächst bedeutender an als bei untrainierten. 3) Die Herzevolution verkürzt sich im ganzen mehr als in der Gruppe der Untrainierten. 4) Die Zeitdauer der Ventrikelsystole (Phase Q - T) verkürzt sich weniger als bei den Untrainierten. 5) Der Abschnitt h (Atrio - Ventricularleitung) zeigt besonders nach langdauernder Anstrengung eine Tendenz zu Verlängerung (bei Untrainierten verkürzt er sich oder bleibt unverändert). 6) Die Phase R verlängert sich, während sie bei Untrainierten verkürzt wird. 7) Das Auftreten von Arrythmien wurde nicht festgestellt. 8) Der Index $\frac{R_1}{R_3}$ verhält sich verschieden. 9) Die Höhe der Zacke R zeigt eine Erhöhungstendenz an. 10) Der Index $\frac{Q-T}{T-Q}$ wächst um die Hälfte weniger an, als bei Untrainierten. Eine Zusammenstellung angeführter Ergebnisse erlaubt zu folgern, dass die Vergrösserung der Zacke

T, die bei Trainierten unmittelbar nach der Anstrengung auftritt, ein Ausdruck einer stärkeren Diastole ist, durch welche das Blut leichter von den Atrien nach den Ventrikeln fliesst. Die mindere Belastung der Atrien bei Trainierten hat ihren Ausdruck darin, dass die Zacke P. weniger anwächst, als bei Untrainierten. Eine Verkürzung der Herzevolution bei Untrainierten, das ist eine grössere Systolenfrequenz, entsteht dadurch, dass die Ventrikel weniger effektiv arbeiten und diesen Mangel durch eine erhöhte Systolenfrequenz ausgleichen müssen. Die Verlängerung der Phase h, der Zacke R und einer ganzen Evolution in der Gruppe trainierter Individuen ist wahrscheinlich ein Ausdruck einer Vagotonie, die infolge systematischen Trainings entsteht.

Rozwój elektrokardjografji w ostatnich latach i związane z tem prace nie podają dostatecznego wyjaśnienia dla zmian, jakie zachodzą w EKG [1]) u osób klinicznie zdrowych po wysiłkach sportowych. Z pośród pierwszych prac, rozpatrujących zmiany EKG u sportowców, wymienić należy prace *Messerle,* który przeprowadził badania narciarzy podczas igrzysk olimpijskich w r. 1928 w St. Moritz, i *Hoogerwerf'a* nad olimpijczykami w Amsterdamie w r. 1928. Badania nad sportowcami (narciarzami) w Polsce przeprowadził *Rosnowski* w r. 1929 w Zakopanem. Ponadto dokonano badań nad wpływem pracy zawodowej i wysiłku na EKG. *(Hausz, Knoll, Ludwig, von Mentzingen, Kiersnowski, Rosenberg, Schlomka, Kostjukow* i *Reiselmann).* Wymienieni autorzy zgodnie stwierdzają, że u osobników wytrenowanych i klinicznie zdrowych zarówno wysokość załamka T jak i załamek P ulegają zwiększeniu, przyczem niektórzy badacze zauważyli zmniejszanie się zał. [2]) P w odprowadzeniu I. Po pracy ewolucja serca ulega skróceniu szczególnie kosztem okresu T — P. Inne załamki i okresy krzywej EKG zachowują się niejednolicie.

Ciekawego materjału do powyższych badań dostarczają przedewszystkiem sportowcy, których wyczyny ze względu na

---

[1]) EKG — elektrokardjogram.

[2]) Zał. — załamek.

uczuciowy stosunek do uprawianej gałęzi sportu, stoją na granicy możliwości osobniczej. To też praca niniejsza, oparta na dobranej grupie osobników wytrenowanych, pozwala przypuszczać, że zanotowane zmiany EKG dają obraz zmian maksymalnych. Celem dokonanej serji badań jest poznanie cech charakterystycznych EKG po wysiłku krótkotrwałym i długotrwałym u osobników wytrenowanych i niewytrenowanych.

METODYKA.

Badania EKG odbywały się w specjalnie urządzonym pokoju obok boiska w celu skrócenia do minimum przerwy między ukończeniem ćwiczenia a początkiem badania. W doświadczeniach stosowano aparat przenośny f-my „Victor" X-Ray Corporation w Chicago.

Doświadczenia przeprowadzono na kobietach i mężczyznach klinicznie zdrowych i sprawnych w wieku 18 — 25 lat.

Zespół doświadczalny podzielono na dwie grupy: w skład pierwszej grupy weszli olimpijczycy, reprezentujący najwyższą klasę sprawności sportowej, oraz absolwenci Centr. Inst. Wych. Fiz., nie posiadający wprawdzie tego poziomu sprawności, ale mimo to wyższy od średniej, spotykanej w środowiskach niesportowych. Drugą grupę stanowili kandydaci i kandydatki na słuchaczy Instytutu. Organizm osobników, wchodzących w skład powyższej grupy, nie był jeszcze przystosowany przez odpowiednią zaprawę do wykonywania większych wysiłków fizycznych.

Jako obciążenie dla rozpatrywanych typów wysiłków krótkotrwałych i długotrwałych ustalono: dla kobiet bieg 60 m. i 500 m., dla mężczyzn 100 i 1000 m. Każdego osobnika poddawano badaniu trzykrotnie, t. zn. w stanie spoczynku, po biegu krótkim i po biegu długim, przy jednoczesnem dokonaniu zdjęć w trzech typowych odprowadzeniach.

Znaczną uwagę skierowano również na skrócenie przerwy pomiędzy biegiem a badaniem. Przy odpowiedniej organizacji pracy, trwanie przerwy od chwili ukończenia biegu do badania udało się skrócić do 10 — 20 sek. za miarę indywidualnego wysiłku podczas poszczególnych biegów służyło notowanie czasu ich trwania.

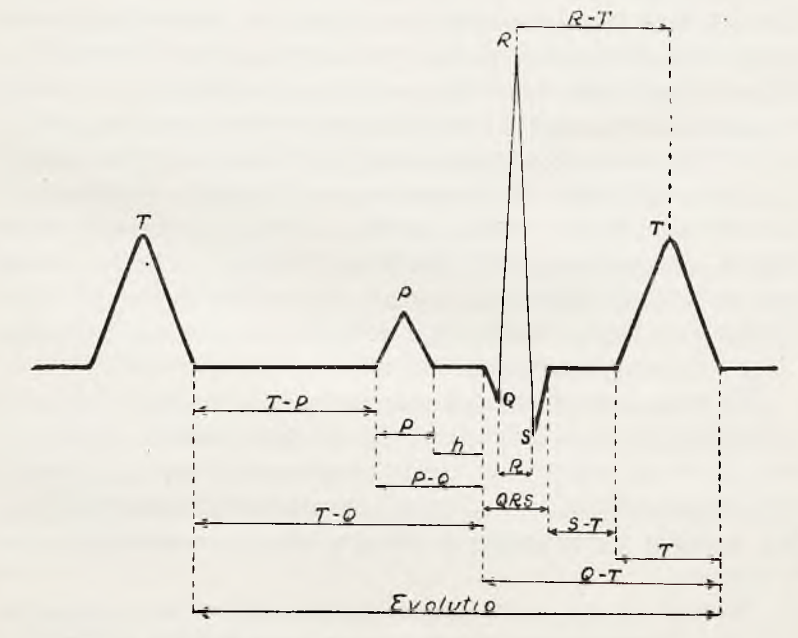
Rozpatrywany materjał obejmuje krzywe elektrokardjograficzne 13 kobiet niewytrenowanych (kandydatki do CIWF),

14 wytrenowanych (7 olimpijek, 7 absolwentek CIWF) oraz 11 mężczyzn niewytrenowanych (kandydaci do CIWF), 4 wytrenowanych (olimpijczycy). W kilku przypadkach badani dokonywali tylko jednego biegu (grupa kobiet), co zostało uwzględnione w obliczeniach. Szereg zdjęć, w których uwidoczniły się wpływy prądów mięśni szkieletowych, odrzucono ze względu na niemożliwość ścisłego obliczenia załamków.

W pozostałym materjale dokonano pomiarów wysokości załamków we wszystkich odprowadzeniach, przyczem czas trwania poszczególnych okresów tylko w odprowadzeniu drugiem.

Przy wykonywaniu pomiarów kierowano się wytycznemi, podanemi przez Rosnowskiego w pracach: „Elektrokardjogram jako wykres czynnościowej sprawności serca" i „Elektrofizyczne podstawy wielkości załamków i kierunków załamków elektrokardjograficznych". W tabelach podano średnie wartości, uzyskane z doświadczeń danego typu, oraz pod niemi w nawiasach najmniejsze i największe wartości danego załamka.

W celu wyjaśnienia pojęć, używanych w niniejszej pracy, podajemy na rys. 1 schemat krzywej elektrokardjograficznej z podziałem ewolucji na okresy.



Rys. 1. Schemat krzywej elektrokardjograficznej.

Załamek P.

W grupie wytrenowanych mężczyzn nie stwierdzono ujemnego ani też rozszczepionego załamka P w spoczynku i po biegach. Po biegu krótkim (100 m.), załamek ten uległ zmniejszeniu w odprowadzeniu I, zwiększył się zaś w odprowadzeniu II i III. W stosunku do ogólnej ilości badanych w odprowadzeniu I załamek P zwiększył się w dwu przypadkach, pozostał bez zmian w jednym i uległ zmniejszeniu również w jednym przypadku. W odprowadzeniu II i III w 3 przypadkach uległ zwiększeniu a w jednym zmniejszeniu. Po biegu długim (1000 m.), załamek ten zwiększył się we wszystkich odprowadzeniach. Na ogólną liczbę badanych w odprowadzeniu I omawiany załamek zwiększył się w 3-ch przypadkach, a w 1-ym uległ zmniejszeniu. W odprowadzeniu II i III uległ zwiększeniu we wszystkich przypadkach. Stopień zwiększenia załamka P nie wykazuje znaczniejszych różnic między wysiłkiem krótkotrwałym a długotrwałym.

W grupie niewytrenowanych podobnie, jak i wytrenowanych, nie zanotowano ujemnego załamka P w spoczynku i po wysiłku. Przeciętna wysokość zał. P w spoczynku jest mniejsza, aniżeli u wytrenowanych. (Tabl. I). Po wysiłku krótkotrwałym (100 m.) zał. P ulega znaczniejszemu zmniejszeniu w odprowadzeniu I, aniżeli u wytrenowanych. (Tabl. I). Zwiększenie zał. P w odprowadzeniu II i III jest również wyraźniejsze w porównaniu ze zmianami u wytrenowanych. Na ogólną liczbę badanych w odprow. I zał. P zwiększył się w 4 przyp., w jednym pozostał bez zmian i w 6 uległ zmniejszeniu. W odprow. II w 9 przyp. uległ zwiększeniu i 2 przyp. zmniejszył się. W odprow. III zwiększył się we wszystkich przypadkach. Po wysiłku długotrwałym (1000 m.), wysokość załamka P pozostała bez zmian w odprow. I, natomiast w odprow. II i III uległa znaczniejszemu zwiększeniu, niż u wytrenowanych, lecz mniejszemu, aniżeli po wysiłku krótkotrwałym. (Tabl. I). Na ogólną liczbę badanych (11) zał. P w odprow. I zwiększył się w 4-ch przypadkach, w 2-ch przyp. pozostał bez zmian, a w 5 przypadkach zmniejszył się. W odprowadzeniu II i III w 9 przypadkach zwiększył się, w 2 się zmniejszył. (Tabl. I).

W grupie kobiet wytrenowanych ujemny zał. P w spoczynku, zanotowano w jednym przypadku w odprow. II i w 4-ch przyp. w odprow. III. Po biegu krótkim (60 m.) i długim

TABL. I.

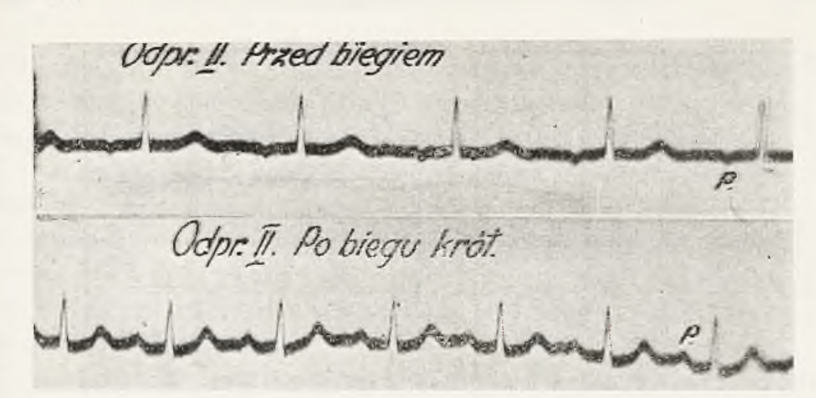
Wysokość załamka P w spoczynku i po biegach)[3].

W nawiasach podane są najniższe i najwyższe wartości załamka.

Zał. P	Wytrenowani*)					Niewytrenowani				
	Spoczynek	Po biegu krótkim	∓ %	Po biegu długim	∓ %	Spoczynek	Po biegu krótkim	∓ %	Po biegu długim	∓ %
Odpr. I	0.66 (0.53—0.80)	0.61 (0.22—0.87)	— 7.6	0.76 (0.59—1.06)	+15.2	0.37 (0.20—0.71)	0.30 (0.—0.55)	—18.9	0.37 (0.10—0.74)	0
Odpr. II	1.24 (0.64—2.02)	1.66 (0.86—2.28)	+33.9	1.64 (1.18—2.55)	+32.2	0.76 (0.49—1.07)	1.27 (0.42—2.42)	+67.1	1.13 (0.73—1.55)	+48.7
Odpr. III	0.73 (0.11—1.24)	1.05 (0.64—1.74)	+43.8	0.87 (0.54—1.49)	+19.2	0.38 (0.11—0.70)	0.99 (0.32—1.98)	+160.5	0.82 (0.22—1.17)	+115.8

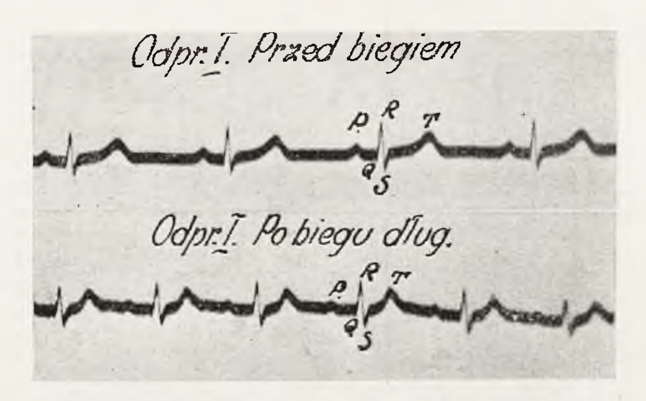
3) Pomiary wysokości podano w mm.

*) Wyniki badań dla grupy osobników wytrenowanych, rekrutujących się z nielicznych przedstawicieli wysokiej klasy sportowców, przedstawiono pomimo stosunkowo nielicznej grupy, w średnich arytmetycznych.



Rys. 2. EKG. Osobnik P. z grupy wytrenowanych.
Załamek P. w spoczynku ujemny po biegu przechodzi w dodatni.

(500 m.), zał. ten z ujemnego przekształcił się w dodatni. (Rys. 2). Rozszczepienie zał. P zaobserwowano w jednym przypadku w odprow. II po wysiłku krótkotrwałym. (EKG., w których zał. P był ujemny, należały do osób o wysokiej sprawności sportowej. *Wajs)*. Po wysiłku krótkotrwałym (bieg 60 m.) zał. P w odprow. I ulega zmniejszeniu, zaś w odprowadzeniu II i III zwiększa się. (Tabl. II). W stosunku do ogólnej ilości osób badanych zał. P w odprowadzeniu I zwiększa się w jednym przypadku i ulega zmniejszeniu w 7 przypadkach. W odprowadze-



Rys. 3. EKG. Osobnik O. z grupy wytrenowanych.
Załamek P. w odpr. I po biegu ulega zmniejszeniu.

niu II i III zwiększa się w 6 przyp. i zmniejsza się w 2 przypadkach. Po wysiłku długotrwałym (500 m.), podobnie jak po wysiłku krótkotrwałym, zał. P uległ zmniejszeniu w odprowadzeniu I (Rys. 3), zwiększa się natomiast w odprowadzeniu II i III.

TABL. II. Wysokość załamka P w spoczynku i po biegach.
(Kobiety).

Bieg krótki.

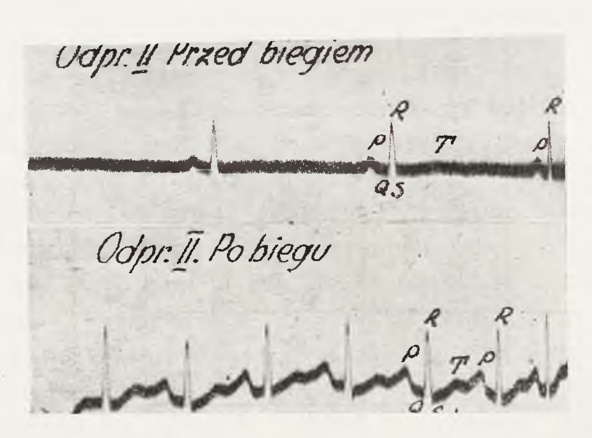
Zał. P	Wytrenowani			Niewytrenowani		
	Spoczynek	Po biegu krótkim	∓ %	Spoczynek	Po biegu krótkim	∓ %
Odpr. I	0.56 (0.30—0.72)	0.37 (0.11—0.67)	— 35.1	0.56 (0.21—0.89)	0.33 (0.23—0.46)	— 41.1
Odpr. II	0.70 (—0.76—1.39)	1.14 (0.91—1.57)	+ 62.8	0.77 (—0.34—1.50)	0.80 (0.46—1.26)	+ 3.8
Odpr. III	0.15 (—1.20—0.71)	0.80 (0.38—1.39)	+ 433.3	0.16 (—0.80—1.25)	0.53 (0.12—0.82)	+ 231.2

Bieg długi.

Zał. P	Wytrenowani			Niewytrenowani		
	Spoczynek	Po biegu długim	∓ %	Spoczynek	Po biegu długim	∓ %
Odpr. I	0.73 (0.49—1.07)	0.39 (0.11—0.69)	— 46.6	0.57 (0.21—0.89)	0.35 (0.21—0.70)	— 38.6
Odpr. II	0.91 (0.64—1.39)	1.01 (0.68—1.58)	+ 10.1	0.71 (—0.34—1.50)	0.87 (0.24—1.54)	+ 22.5
Odpr. III	0.18 (—0.36—0.71)	0.60 (0.23—0.88)	+ 233.3	0.08 (—0.80—1.25)	0.54 (0.21—1.44)	+ 575.0

Znaczne zwiększenie się zał. P w odprowadzeniu III tłomaczy się tem, że w spoczynku wymieniony załamek w kilku przypadkach był ujemny. Zwiększenie to jest jednak mniejsze, aniżeli po biegu krótkim (Tabl. III). W stosunku do ogólnej ilości badanych zał. P w odprowadzeniu I zwiększył się w jednym przyp. i zmniejszył się w 7 przypadkach. W odprowadzeniu II zwiększył się w 4 przyp. oraz zmniejszył się również w 4 przypadkach. W odprowadzeniu III zwiększył się w 7 przyp., zmniejszył się w jednym przypadku.

U niewytrenowanych spotykamy zał. P ujemny w odpr. II w 2 przyp., a w odpr. III w 5 przypadkach. Nie zanotowano w tej grupie przypadków rozszczepienia zał. P. Podobnie do reakcji u zawodniczek dobrze wytrenowanych, zał. P po biegu krótkim (60 mtr.) i długim (500 mtr.) stał się dodatnim za wyjątkiem jednego przypadku, w którym nie można było go odczytać na EKG. Po biegu krótkim zał. P zmniejszył się w odprowadzeniu I a zwiększył się w odpr. II i III. W stosunku do ogólnej ilości badanych zał. P w odpr. I zwiększył się u 3 osób i uległ zmniejszeniu u 9-iu. W odpr. II — w 6 przyp. zwiększył się, w jednym pozostał bez zmian i w 5 zmniejszył się. W odprowadzeniu III w 8 przyp. zwiększył się i w 3 przyp. zmniejszył się.



Rys. 4. EKG. Osobnik S. z grupy niewytrenowanych. Załamek P. po biegu ulega wzrostowi.

Po wysiłku długotrwałym (500 mtr.), podobnie jak po biegu krótkim, zał. P zmniejszył się w odpr. I, zwiększając się w odpr. II i III. (Rys. 4 i Rys. 5). Zwiększenie to jest wyraźniej-

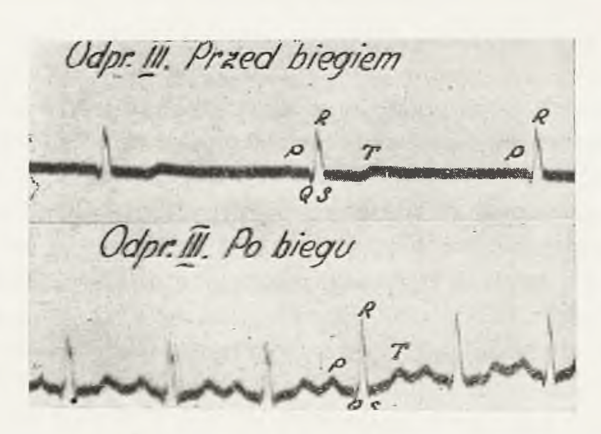
TABL. III.

Wysokość załamka R w spoczynku i po biegach.

(Mężczyźni).

Zał. R	Wytrenowani					Niewytrenowani				
	Spoczynek	Po biegu krótkim	−/+ %	Po biegu długim	−/+ %	Spoczynek	Po biegu krótkim	−/+ %	Po biegu długim	−/+ %
Odpr. I	5.68 (3.62—7.98)	4.55 (3.26—6.63)	—19.1	4.90 (4.31—6.02)	—13.7	3.87 (1.49—5.71)	4.08 (1.86—5.44)	+5.4	4.01 (0.94—6.48)	+3.6
Odpr. II	9.48 (3.76—12.02)	8.62 (3.44—12.50)	— 9.1	11.79 (7.65—15.05)	+24.4	7.49 (4.09—11.60)	10.65 (4.00—23.52)	+42.2	9.73 (3.33—18.79)	+29.9
Odpr. III	3.90 (1.29—5.53)	3.13 (0.97—4.02)	—19.8	5.69 (1.88—8.30)	+45.9	5.52 (1.55—9.33)	7.12 (3.44—12.53)	+29.0	7.75 (2.34—13.63)	+40.4

sze w porównaniu z analogicznemi zmianami po biegu krótkim. Na ogólną liczbę badanych zał. P w odpr. I w 2 przyp. zwiększył się i w 9 uległ zmniejszeniu. W odpr. II ilości przypadków zwiększenia i zmniejszenia są prawie równe. W odpr. III w 8 przyp. zwiększył się i w 3 przyp. zmniejszył się.



Rys. 5. EKG. Osobnik B. z grupy niewytrenowanych. Załamek P. w III odpr. po biegu wzrasta.

Zestawienie wyników w zespole męskim wskazuje na to, że zał. P bardziej zwiększa się u niewytrenowanych, szczególnie po biegu krótkim.

Natomiast w grupie kobiet po biegu krótkim zwiększenie zał. P jest wyraźniejsze u wytrenowanych, aniżeli u niewytrenowanych. Po biegu długim zmiany te są bardziej zaznaczone u niewytrenowanych. Zał. P w odpr. I w grupie kobiet uległ zmniejszeniu (Tabl. II) po obu biegach.

Zjawisko zwiększania się zał. P tłumaczy *Hoogerwerf* tem, że wysiłek powoduje osłabienie tonusu nerwu błędnego, wyrażające się zwiększeniem zał. P szczególnie w odprow. II i III.

Należy przypuszczać, że bezpośrednio po wysiłku przedsionki bardziej wypełniają się krwią, co jest wyrazem powiększenia się załamka P. Powiększenie to jest znaczniejsze u niewytrenowanych, u których wysiłek w większej mierze zakłóca krwiobieg, powodując nadmierne obciążenie przedsionków.

Pokrywałoby się to z twierdzeniami *Kostjukowa* i *Reiselmann'a*, że zwiększenie się załamka P jest wyrazem zwiększonej pracy przedsionków. W badaniach swoich wymienieni autorzy stwierdzili różne zachowanie się załamka P, i tak: w odprowa-

dzeniu I załamek P słabo reaguje na obciążenie, w odprowadzeniu zaś II i III wyraźnie zwiększa się. Ponadto zwiększenie się załamka P po pracy stwierdzili *Hausz, Knoll, Kiersnowski, Rosnowski.* W badaniach *Ludwig'a* największy wzrost załamka P wystąpił w odprowadzeniu II i III.

Załamek Q.

Załamek Q w przeprowadzonych badaniach wystąpił wyraźnie zaledwie w 4 przypadkach, z których 3 należały do kobiet (2 wytrenowane i jedna niewytrenowana) i jeden do mężczyzn (niewytrenowanych). W innych przypadkach wymieniony załamek uwidocznił się bardzo słabo. W piśmiennictwie elektrokardjografji załamek Q uważany jest jako niestały *(Eiger, Theo Groedel, Lewis* i *Gilder, Deschamps, Rosnowski).* Z powyższych względów nie podajemy wyczerpującego omówienia.

Załamek R.

W grupie wytrenowanych mężczyzn nie stwierdzono ujemnego zał. R w spoczynku i po biegach. Rozszczepienie zał. R zauważono w 2 przyp. w odprow. III, występujące zarówno w spoczynku, jak i po biegach.

Po biegu krótkim zał. R uległ zmniejszeniu we wszystkich odprowadzeniach. W stosunku do ogólnej ilości osób badanych zał. R w odpr. I i II zwiększył się w jednym przypadku i zmniejszył się w 3 przypadkach. Po biegu długim zał. R uległ zmniejszeniu w odpr. I, zaś w odpr. II i III zwiększył się.

W stosunku do ogólnej ilości badanych zał. R w odpr. I okazał zmniejszenie lub też zwiększenie w równej ilości przypadków. W odpr. II i III we wszystkich przypadkach uległ zwiększeniu. (Tabl. III).

W grupie niewytrenowanych przeciętne liczby dla wysokości zał. R w spoczynku są nieco mniejsze, niż u wytrenowanych. (Tabl. III). Nie stwierdzono ujemnego zał. R w spoczynku i po biegach. Rozszczepienie tego załamka zauważono tylko w jednym przypadku w spoczynku. Po biegach (krótkim i długim) załamek ten uległ zwiększeniu we wszystkich odprowadzeniach. (Tabl. III).

W stosunku do ogólnej ilości badanych zał. R po biegu krótkim w odpr. I zwiększył się w 4 przypadkach i uległ zmniej-

szeniu w 7 przyp. W odpr. II i III w 8 przyp. zwiększył się i w 3 przyp. zmniejszył się. Po biegu długim w odpr. I zał. R w 7 przyp. zwiększył się, w 4 zmniejszył się. W odpr. II w 10 przyp. zwiększył się i w 1 zmniejszył się. W odpr. III w 9 przyp. zwiększył się i w 2 uległ zmniejszeniu.

W grupie kobiet wytrenowanych ujemnego zał. R tak w spoczynku, jak i po biegach, nie zanotowano. Rozszczepienie tego załamka zauważono w 1 przyp. w odpr. III. Rozszczepienie to zachowało się również po biegach. Po wysiłku krótkotrwałym zał. R uległ zwiększeniu w odpr. I i III a zmniejszył się w odpr. II. W stosunku do ogólnej ilości osób badanych zał. R w odpr. I zwiększył się w 5 przypadkach i uległ zmniejszeniu w 3 przyp. W odpr. II w 2 przyp. zwiększył się i w 6 zmniejszył się. W odpr. III w 7 przyp. zwiększył się i w 1 zmniejszył się. Po wysiłku długotrwałym zmniejszył się zał. R w odpr. I a zwiększył się w odpr. II i III. W stosunku do ogólnej ilości osób badanych zał. R w odpr. I w 2 przyp. zwiększył się i w 6 przyp. zmniejszył się. W odpr. II w 7 przypadkach zwiększył się i w 1 zmniejszył się. W odpr. III w 5 przyp. zwiększył się i w 3 przyp. zmniejszył się.

Zmniejszenia się tego załamka jednocześnie we wszystkich trzech odprowadzeniach nie stwierdzono w żadnym przypadku. Jednoczesne zwiększenie się wysokości tego załamka stwierdzono w jednym przypadku (krzywa Ekg. należała do wybitnej lekkoatletki — Wajs). U zawodniczki Wal., reprezentującej najwyższą klasę usprawnienia sportowego, załamek ten zachował się różnie.

W grupie niewytrenowanych przeciętne wysokości tego załamka są niższe, aniżeli u wytrenowanych. (Tabl. IV).

Ujemny załamek R zaobserwowano w jednym przypadku w odpr. III. Wymieniony załamek po biegach uległ wyraźnemu zmniejszeniu. Rozszczepienie tego załamka, które utrzymywało się i po biegach, spotkano tylko w 4 przyp. na 13 badanych i to w odpr. III. Po biegach załamek ten uległ zmniejszeniu we wszystkich odprowadzeniach, przyczem zmniejszenie było większe po biegu długim. (Tabl. IV). W stosunku do ogólnej ilości badanych zał. R po biegu krótkim w odpr. I w 3 przyp. zwiększył się, w 9-iu uległ zmniejszeniu. W odpr. II i III w 4 przyp. zwiększył się i w 8 zmniejszył się. Po biegu długim w odpr. I w 2 przy-

TABL. IV. Wysokosć załamka R w spoczynku i po biegach.
(Kobiety).

Bieg krótki.

Zał. R	Wytrenowani			Niewytrenowani		
	Spoczynek	Po biegu krótkim	∓ %	Spoczynek	Po biegu krótkim	∓ %
Odpr. I	5.04 (2.22—6.85)	5.93 (2.86—9.26)	+ 17.6	4.30 (1.41—6.30)	3.76 (2.09—6.48)	— 12.6
Odpr. II	9.91 (7.06—13.83)	8.81 (5.67—15.16)	— 11.1	7.96 (3.07—13.90)	7.05 (2.26—14.24)	— 11.4
Odpr. III	6.88 (1.96—11.38)	7.64 (4.23—12.09)	+ 11.0	5.78 (2.11—11.41)	5.64 (0.34—14.00)	— 2.4

Bieg długi.

Zał. R	Wytrenowani			Niewytrenowani		
	Spoczynek	Po biegu długim	∓ %	Spoczynek	Po biegu długim	∓ %
Odpr. I	5.11 (2.22—10.36)	4.35 (2.79—7.32)	— 14.9	4.44 (1.41—6.30)	3.56 (0.61—8.16)	— 19.8
Odpr. II	10.44 (6.90—14.51)	11.64 (7.27—17.69)	+ 11.5	7.74 (3.07—13.90)	6.33 (3.09—10.41)	— 18.2
Odpr. III	7.54 (1.55—14.90)	7.75 (3.18—12.86)	+ 0.3	5.31 (2.15—11.41)	4.96 (1.95—18.67)	— 6.6

padkach zwiększył się i w 9-iu uległ zmniejszeniu. W odpr. II i III w 5 przyp. zwiększył się i w 6 zmniejszył się.

Jednoczesnego zwiększenia zał. R we wszystkich odprowadzeniach nie zauważono, zmniejszenie, które utrzymywało się po obu biegach, stwierdzono tylko w jednym przypadku. (Krzywa Ekg. należała do osoby niewyróżniającej się sprawnością fizyczną).

Ogólna ocena stanu załamka R u badanych wskazuje na różne jego zachowanie się po wysiłku, przyczem po wysiłku długotrwałym zaznacza się jego wzrost (szczególnie u grup wytrenowanych).

Zachowanie się załamka R określa *Hausz* następująco: zał. R zwiększa się na początku pracy, w czasie trwania pracy zachowuje się różnie, a po 10-minutowym odpoczynku jest dwukrotnie większy, niż w spoczynku. *Rosnowski* stwierdza zwiększenie się załamka R u mężczyzn po wysiłku, a w grupie kobiet w niektórych wypadkach — zmniejszenie. Ujemne R w odpr. III wymieniony autor zauważył u osobników względnie starszych. *Kostjukow* i *Reiselmann* zauważyli wahania zał. R we wszystkich odprowadzeniach w kierunku zmniejszania się, podkreślają jednak, że dopiero po minutowym odpoczynku załamek osiąga swoją wartość początkową.

Załamek S.

Załamek S, należy do ujemnych załamków w EKG, nie występujących stale. (*Eiger*, *Theo Groedel*, *Lewis* i *Gilder*, *Deschamps*, *Rosnowski* i inni). W niniejszych badaniach wystąpił on w blisko 70%, przyczem w grupie kobiet obecność zał. S jest rzadsza, niż u mężczyzn. W wymienionych przypadkach zał. S pojawił się nie we wszystkich odprowadzeniach tak po biegu długim, jak i krótkim. To też uzyskana średnia wysokość zał. S nie może odzwierciedlić rzeczywistego stanu rzeczy.

Mężczyźni. W grupie wytrenowanych po biegu krótkim załamek ten zmniejszył się w odprowadzeniu pierwszem, zaś w odpr. II i III uległ zwiększeniu. Po biegu długim załamek ten zmniejszył się w odpr. I i II a zwiększył się w odpr. III (Tabl. V).

W grupie niewytrenowanych przeciętne wartości dla wysokości tego załamka są większe, niż w grupie wytrenowanych. Po wysiłku krótkotrwałym załamek ten zwiększył się w odpr. I i III,

TABL. V. Wysokość załamka S w spoczynku i po biegach.
(Mężczyźni).

Zał. S	Wytrenowani					Niewytrenowani				
	Spoczynek	Po biegu krótkim	∓ %	Po biegu długim	∓ %	Spoczynek	Po biegu krótkim	∓ %	Po biegu długim	∓ %
Odpr. I	0.71	0.60	—15.5	0.58	—18.3	1.46	1.47	+0.7	1.75	+19.9
Odpr. II	0.95	1.45	+52.6	0.51	—16.3	1.38	1.09	—21.0	2.07	+50.0
Odpr III	0.18	0.61	+238.9	0.25	+38.9	0.81	1.26	+55.5	1 09	—34 6

TABL. VI. Wysokość załamka S w spoczynku i po biegach.
(Kobiety).

Bieg krótki.

Zał. S	Wytrenowani			Niewytrenowani		
	Spoczynek	Po biegn krótkim	∓ %	Spoczynek	Po biegu krótkim	∓ %
Odpr. I	1.18	1.37	+ 16.1	0.71	1.00	+ 40.8
Odpr. II	0.46	0.86	+ 87.0	0.92	0.92	+ 2.2
Odpr. III	0.26	0.11	— 57.7	0.48	0.63	+ 24.1

Bieg długi.

Zał. S	Wytrenowani			Niewytrenowani		
	Spoczynek	Po biegu długim	∓ %	Spoczynek	Po biegu długim	∓ %
Odpr. I	2.41	1.68	— 30.4	0.67	1.16	+ 73.1
Odpr. II	1.24	1.07	— 13.7	0.95	0.67	— 29.5
Odpr. III	0.18	0.41	+ 127.8	0.53	0.50	— 5.7

zaś w odpr. II uległ zmniejszeniu. Po biegu długim zwiększył się we wszystkich odprowadzeniach. (Tabl. V).

Kobiety. W grupie wytrenowanych po wysiłku krótkotrwałym załamek ten uległ zwiększeniu w odprowadzeniu I i II i zmniejszył się w odpr. III. Po biegu długim uległ zmniejszeniu w odprowadzeniu I i II a zwiększył się w odpr. III. (Tabl. VI).

U niewytrenowanych przeciętne wartości dla wysokości zał. S niewiele różnią się od wysokości tego załamka w grupie wytrenowanych. Po wysiłku krótkotrwałym zaznacza się zwiększenie załamka we wszystkich odprowadzeniach, przyczem największe występuje w odprowadzeniu I. Po wysiłku długotrwałym załamek ten uległ zwiększeniu tylko w odprowadzeniu I, zaś w odprowadzeniu II i III zmniejszył się. (Tabl. VI).

Uzyskane dane nie wykazują zatem wyraźnego obrazu zachowania się zał. S w zależności od stopnia wytrenowania.

Rosnowski w swych badaniach zaobserwował, że znaczne zmniejszenie się, jak równiej powiększenie zał. S w odpr. III po wysiłku przemawia za bardziej zaznaczonem wyczerpaniem serca. *Kostjukow* i *Reiselmann* zanotowali zwiększanie się zał. S w odpr. II po wysiłku. W odpr. I i III zał. S również uległ zwiększeniu, lecz nie było ono tak znaczne, jak w odpr. II.

Załamek T.

W grupie mężczyzn wytrenowanych ujemny zał. T stwierdzono w jednym przypadku w odpr. III-m. Zał. ten po biegach przekształcił się w dodatni. Rozszczepienia zał. T nie stwierdzono ani w spoczynku, ani po biegach. Po wysiłku krótkotrwałym i długotrwałym zał. T uległ zwiększeniu we wszystkich odprowadzeniach. (Tabl. VII. Rys. 6). W stosunku do ogólnej ilości badanych zał. T w odpr. I zwiększył się we wszystkich przypadkach. W odpr. II i III w 3 przypadkach zwiększył się i w 1 pozostał bez zmian. Po biegu długim w odpr. I w 2 przypadkach zwiększył się i w 2 zmniejszył się. W odpr. II w 3 przypadkach zwiększył się, w jednym pozostał bez zmian. W odpr. III w 3 przypadkach zwiększył się i w jednym zmniejszył się.

W grupie niewytrenowanych przeciętne wartości wysokości tego załamka prawie że nie różnią się od wartości dla grupy wytrenowanych. W spoczynku, ujemny zał. T stwierdzono tylko w odpr. III w 3 przypadkach. W jednym z tych przypadków

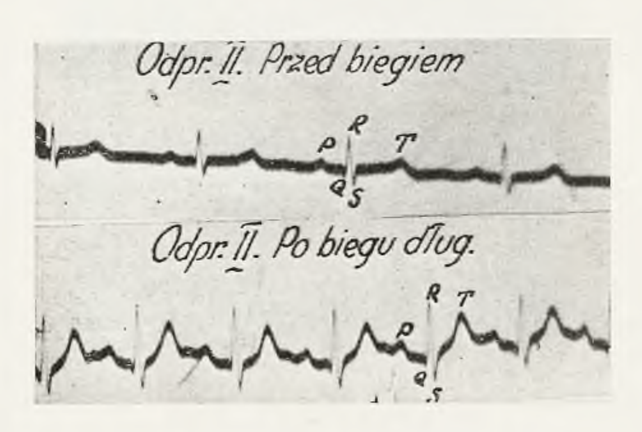
TABL. VII.

Wysokość załamka T w spoczynku i po biegach.

(Mężczyźni).

Zał. T.	Wytrenowani					Niewytrenowani				
	Spoczynek	Po biegu krótkim	∓ %	Po biegu długim	∓ %	Spoczynek	Po biegu krótkim	∓ %	Po biegu długim	∓ %
Odpr. I	1.77 (1.28—1.95)	2.07 (1.41—1.47)	+ 16.9	1.81 (1.17—2.90)	+ 2.2	1.56 (0.80—2.38)	1.68 (1.28—2.35)	+ 7.7	1.63 (1.29—2.13)	+ 4.5
Odpr. II	1.71 (0.64—2.34)	2.71 (2.17—3.26)	+58.5	2.62 (1.86—3.66)	+53.2	1.88 (0.68—3.19)	2.59 (0.89—4.30)	+37.8	2.53 (1.53—4.38)	+34 6
Odpr. III	0.20 (0.67—1.06)	0.77 (0.54—0.98)	+285.0	0.75 (0.77—0.75)	+275.0	0.18 (—0.80 -1.76)	0.84 (—0.66—3.02)	+366.7	0.84 (—0.44—2.71)	+366.7

po biegach załamek ten przekształcił się w dodatni, w dwu pozostał nadal ujemny. Rozszczepienia tego załamka nie stwierdzono w spoczynku i po biegach. Po biegu krótkim, jak też i po długim zał. T uległ zwiększeniu we wszystkich odprowadzeniach, lecz było ono nieco mniejsze, niż u wytrenowanych. (Tabl. VII).



Rys. 6. EKG. Osobnik K. z grupy wytrenowanych. Znaczny wzrost załamka T. po biegu.

W stosunku do ogólnej ilości badanych zał. T po biegu krótkim w odpr. I i III w 6 przypadkach zwiększył się i w 5 zmniejszył się. W odpr. II w 9 przypadkach zwiększył się a w 2 przypadkach zmniejszył się. Po biegu długim we wszystkich odprowadzeniach zał. T w 6 przypadkach zwiększył się i w 5 — zmniejszył się.

W grupie kobiet wytrenowanych przeciętna wartość wysokości tego załamka w spoczynku jest większa, niż w grupie męskiej (wytrenowani i niewytrenowani).

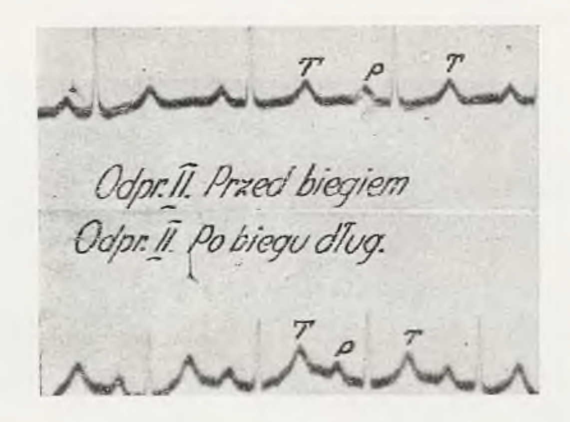
Ujemny zał. T stwierdzono tylko w odpr. III w 4 przypadkach. Po biegu w 2 przypadkach zał. T przekształcił się w dodatni, a w 2-ch pozostał nadal ujemny.

Po biegu krótkim nie stwierdzono dodatkowego ujawnienia się ujemnego zał. T. Po biegu długim zał. ten pojawił się w dwu przypadkach w odpr. III.

Po biegach (krótkim i długim) zał. T uległ zwiększeniu we wszystkich odprowadzeniach. Wyraźniejsze zwiększenie wystąpiło po biegu krótkim. (Tabl. VIII). (Rys. 7).

W stosunku do ogólnej ilości badanych zał. T po biegu krótkim w odpr. I i II w 6 przypadkach zwiększył się i w 2 przy-

padkach zmniejszył się. W odpr. III w 5 przypadkach zwiększył się i w 3 przyp. zmniejszył się. Po biegu długim w odpr. I i III w 6 przyp. zwiększył się i w 2 przyp. zmniejszył się. W odpr. II w 5 przyp. zwiększył się i w 3 przyp. zmniejszył się.



Rys. 7. EKG. Osobnik Wal. z grupy wytrenowanych. Wzrost załamka T po biegu.

W grupie kobiet niewytrenowanych przeciętne wartości wysokości zał. T w spoczynku są mniejsze, niż u wytrenowanych. Rozszczepienia zał. T podobnie, jak w grupie wytrenowanych, nie stwierdzono. Ujemny zał. T w spoczynku stwierdzono tylko w odpr. III w 5 przypadkach na 13. Po biegach w 3 przyp. zał. T przekształcił się w dodatni. Po biegu krótkim ujemny zał. T wystąpił w 3 przyp. w odpr. III, po biegu długim w 4 przypadkach. Podobnie do zmian u wytrenowanych zał. T po biegach (60 i 500) uległ zwiększeniu, szczególnie wyraźniejszemu po biegu długim. (Tabl. VIII). Na ogólną liczbę badanych po biegu krótkim zał. T w odpr. I ulega zwiększeniu lub zmniejszeniu w równej liczbie przypadków. W odpr. II i III w 5 przyp. zwiększył się, w 2 pozostał bez zmian i w 5 zmniejszył się. Po biegu długim w odpr. I w 6 przyp. zwiększył się i w 5 zmniejszył się. W odpr. II w 4 przyp. zwiększył się, w 2 pozostał bez zmian i w 5 zmniejszył się. W odpr. III w 6 przyp. zwiększył się, w jednym pozostał bez zmian i w 4 zmniejszył się.

Z powyszego zestawienia wynika, że zał. T zwiększył się w grupie męskiej u wytrenowanych bardziej, niż u niewytrenowanych, co się szczególnie uwydatniło po biegu krótkim. Po biegu długim wyraźne zwiększenie zał. T zaznacza się w odprow. II i III.

TABL. VIII. Wysokość załamka T w spoczynku i po biegach.
(Kobiety).

Bieg krótki.

Zał. T	Wytrenowani			Niewytrenowani		
	Spoczynek	Po biegu krótkim	∓ %	Spoczynek	Po biegu krótkim	∓ %
Odpr. I	1.81 (0.98—3.33)	1.98 (1.32—3.33)	+9.3	1.62 (0.66—2.50)	1.73 (0.81—2.09)	+6.7
Odpr. II	2.19 (1.30—3.08)	2.58 (2.12—3.37)	+17.8	1.82 (0.68—3.85)	1.85 (0.82—3.52)	+1.6
Odpr. III	0.36 (−0.84—1.21)	0.61 (−0.55—1.68)	+69.4	0.29 (−1.10—1.67)	0.36 (−0.69—1.61)	+24.1

Bieg długi.

Zał. T	Wytrenowani			Niewytrenowani		
	Spoczynek	Po biegu długim	∓ %	Spoczynek	Po biegu długim	∓ %
Odpr. I	2.39 (1.67—3.33)	2.57 (1.93—3.54)	+7.5	1.58 (0.66—2.50)	1.58 (0.67—3.56)	0
Odpr. II	3.14 (1.75—4.05)	3.37 (1.87—5.24)	+7.3	1.41 (0.68—3.85)	1.72 (0.53—3.54)	+22.0
Odpr. III	0.81 (−0.84—1.55)	0.81 (−0.62—1.72)	0	0.14 (−1.10—1.67)	0.23 (−0.63—1.46)	+64.3

W grupie kobiet wytrenowanych zwiększenie zał. T występuje wyraźniej po biegu krótkim.

W badaniach, dotyczących EKG, zał. T jest szeroko omawiany, przyczem interpretacja jego pochodzenia i znaczenia jest bardzo różna. Dotychczasowe poglądy zaliczały ten załamek do zespołu komorowego (QRST), jako przejaw skurczu komór. Stanowisko takie jest prawie ogólnie przyjęte.

W interpretacji *Rosnowskiego* zał. T jest wyrazem czynnego (elektrochemicznego) rozkurczu komór. Pogląd *Rosnowskiego* pokrywa się z wynikami badań *Walawskiego.*

Przyczyny zwiększania się zał. T wyjaśnia *Weitz* zmniejszonem wypełnieniem serca. *Messerle* uważa, że na zwiększenie zał. T wpływają dwa czynniki: siła skurczu i stopień wypełnienia serca.

Kostjukow i *Reiselmann* w swych doświadczeniach zauważyli, że zał. T w odpr. I w połowie przypadków zwiększył się a w pozostałych zmniejszył się lub pozostał bez zmian, w odprowadzeniu II i III zwiększył się, przyczem najwyższy wzrost tego załamka następował po jednominutowym odpoczynku.

Walawski i *Rasolt stwierdzili,* że przy wzmożonem napięciu nerwu błędnego (pobudzenie toniczne) zwiększają się wymiary fali T. Z badań *Rosnowskiego* wynika, że mierne zwiększenie się załamka T szczególnie w odpr. II cechuje zawodników o większej sprawności fizycznej. Również *Hoogerwerf* stwierdza, że powiększenie się załamka T po wysiłku fizycznym jest przejawem zdolności akomodacyjnych serca, w braku natomiast przystosowania serca do wysiłku, zał. T jest mały, lub nie występuje zupełnie. Zaś *Franke* odnosi nieprawidłowość zał. T u młodych osobników do niedotlenienia mięśnia komór serca.

Załamek U.

W przeprowadzonych badaniach nie stwierdzono obecności zał. U, *Theo Groedel* w swych badaniach nie zauważył również obecności tego załamka. *Wasilkowska-Krukowska* podaje, że obecność zał. U nie posiada znaczenia patologicznego. *Einthowen,* badając atletów, stwierdza, że zał. U występuje u wybitnie sprawnych atletów.

Celem wszechstronnego rozpatrzenia EKG, jako wykresu, ilustrującego stan czynnościowy mięśnia sercowego, opracowa-

no zestawienia wzajemnego ustosunkowania się wysokości załamków oraz czasu trwania niektórych okresów.

Stosunek wysokości załamków P i T do R w odpr. II.
Wskaźnik stosunku P do R.

W grupie mężczyzn wytrenowanych wskaźnik $\frac{P}{R}$ po biegach (krótkim i długim) ulega zwiększeniu, które zaznacza się szczególnie po biegu krótkim. W stosunku do ogólnej ilości badanych, po biegu krótkim wskaźnik ten wzrasta u wszystkich badanych, zaś po biegu długim w 2 przypadkach ulega zwiększeniu, w jednym pozostaje bez zmian i w jednym ulega zmniejszeniu.

W grupie niewytrenowanych wskaźnik ten także ulega zwiększeniu po biegach, zwiększenie to jest jednak nieco mniejsze, niż u wytrenowanych. W stosunku do ogólnej ilości badanych po obu rodzajach biegu wskaźnik $\frac{P}{R}$ wzrasta w 6 przypadkach i ulega zmniejszeniu w 5 przyp. (Tabl. IX).

TABL. IX. Stosunek $\frac{P}{R}$

(Mężczyźni).

	Wytrenowani			Niewytrenowani		
	Spoczynek	Po biegu krótkim	Po biegu długim	Spoczynek	Po biegu krótkim	Po biegu długim
Średnia wielkość wskaźnika	0.137	0.207	0.154	0.121	0.161	0 135
Wzrost lub zmniejszenie w %%		+ 51.1	+ 12.4		+ 33.0	+ 11.6

W grupie kobiet wskaźnik $\frac{P}{R}$ ulega zwiększeniu po obu biegach (krótkim i długim) u wytrenowanych i niewytrenowanych. Po biegu krótkim bardziej zwiększa się u wytrenowanych, po biegu długim natomiast u niewytrenowanych. (Tabl. X).

W stosunku do ogólnej ilości badanych, w grupie wytrenowanych po biegu krótkim wskaźnik ten zwiększył się we wszystkich przypadkach. Po biegu długim w 5 przypadkach zwiększył się i w 3 uległ zmniejszeniu. W grupie niewytrenowanych po biegu krótkim w 7 przypadkach zwiększył się i w 6 — uległ zmniejszeniu. Po biegu długim w 10 przypadkach zwiększył się i w 2 — uległ zmniejszeniu.

TABL. X. Stosunek $\frac{P}{R}$ (Średnia wielkość wskaźnika).
(Kobiety).
Bieg krótki.

Wytrenowani			Niewytrenowani		
Spoczynek	Po biegu krótkim	$\frac{-}{+}$ %	Spoczynek	Po biegu krótkim	$\frac{-}{+}$ %
0.094	0.141	+ 50	0.106	0.128	+ 20.8

Bieg długi.

Wytrenowani			Niewytrenowani		
Spoczynek	Po biegu długim	$\frac{-}{+}$ %	Spoczynek	Po biegu długim	$\frac{-}{+}$ %
0.092	0.096	+ 4.3	0.099	0.151	+ 52.5

Z powyższego wynika, że po wysiłku zał. P zwiększa się niewspółmiernie więcej, niż zał. R. Według *Rosnowskiego*, zmniejszenie się tego wskaźnika po biegu, lub też bardzo znaczne powiększenie go (ponad 75%) jest cechą charakterystyczną jednostek zmęczonych.

Wskaźnik $\frac{T}{R}$.

Przeciętna wartość tego wskaźnika u mężczyzn zarówno wytrenowanych, jak i niewytrenowanych, wzrasta po obu biegach, przyczem wzrost ten szczególnie uwidacznia się po biegu krótkim w grupie wytrenowanych. (Tabl. XI). W stosunku do ogólnej ilości badanych w grupie wytrenowanych po biegu krótkim wskaźnik ten wzrasta w 100%. Po biegu długim w 3 przyp. wzrasta i w jednym zmniejsza się. W grupie niewytrenowanych po biegu krótkim i długim w 6 przyp. wzrasta i w 5 ulega zmniejszeniu.

W grupie kobiet wytrenowanych i niewytrenowanych wskaźnik $\frac{T}{R}$ ulega zwiększeniu po obu biegach (Tabl. XII), zwiększenie jednak wyraźniejsze jest w grupie wytrenowanych. W stosunku do ogólnej ilości badanych w grupie wytrenowanych po biegu krótkim zmniejsza się w jednym przypadku, w pozostałych zaś wzrasta.

W grupie niewytrenowanych po biegu krótkim, w 9 przyp. wskaźnik $\frac{T}{R}$ wzrasta, w 3 ulega zmniejszeniu. Po biegu długim w 7 przyp. zwiększa się, zaś w 5 ulega zmniejszeniu.

Charakterystyczne zwiększanie się wskaźnika $\frac{T}{R}$ w grupach wytrenowanych świadczy o tem, że „elektrochemiczny rozkurcz serca'' przebiega po wysiłku z niewspółmiernie większą różnicą potencjału, niż okres pobudzenia komór.

TABL. XI. Stosunek $\frac{T}{R}$

(Mężczyźni).

	Wytrenowani			Niewytrenowani		
	Spoczynek	Po biegu krótkim	Po biegu długim	Spoczynek	Po biegu krótkim	Po biegu długim
Średnia wielkość wskaźnika	0.180	0.384	0.224	0.263	0.328	0.316
Wzrost lub zmniejszenie w %%		+ 113.3	+ 24.4		+ 22.8	+ 20.2

TABL. XII. Stosunek (wskaźnik) $\frac{T}{R}$

(Kobiety).

Bieg krótki.

Wytrenowani			Niewytrenowani		
Spoczynek	Po biegu krótkim	$\mp$ %	Spoczynek	Po biegu krótkim	$\mp$ %
0.221	0.350	+ 58.4	0.256	0.325	+ 27.0

Bieg długi.

Wytrenowani			Niewytrenowani		
Spoczynek	Po biegu długim	$\mp$ %	Spoczynek	Po biegu długim	$\mp$ %
0.322	0.481	+ 49.4	0.224	0.306	+ 36.6

Wskaźnik $\frac{R_1}{R_3}$.

Przedstawia duże znaczenie dla oceny zjawisk elektromotorycznych serca, bowiem wzrost wskaźnika jest wyrazem względnej przewagi komory lewej, zmniejszenie zaś — komory prawej. W grupie mężczyzn wytrenowanych wskaźnik ten po biegu krótkim zwiększył się w 2 przyp., a zmniejszył się w pozostałych. Po biegu długim we wszystkich przypadkach wskaźnik uległ zmniejszeniu. W grupie niewytrenowanych po biegu krótkim w 4 przyp. uległ zwiększeniu, a w 7 — zmniejszył się. Po biegu długim u 2-ch osobników zwiększył się, u pozostałych uległ zmniejszeniu.

W grupie kobiet wytrenowanych po biegu krótkim wskaźnik $\frac{R_1}{R_3}$ ulega zwiększeniu lub zmniejszeniu w równej ilości przypadków. Po biegu długim $\frac{R_1}{R_3}$ w 2 przyp. uległ zwiększeniu, w 6 — zmniejszył się.

W grupie niewytrenowanych po biegu krótkim i długim wskaźnik ten zwiększył się w 5 przyp. oraz zmniejszył się w 7 przypadkach (u Wal., jako najsprawniejszej zawodniczki, wskaźnik $\frac{R_1}{R_3}$ po obu biegach uległ zwiększeniu, które szczególniej zaznaczyło się po biegu krótkim).

Wyżej przedstawione zachowanie się omawianego wskaźnika pozwala stwierdzić, że względna przewaga jednej z komór nie jest wykładnikiem osiągniętej formy treningowej lub też stanu niewytrenowania.

Podobnie i *Hoogerwerf* w swoich badaniach zanotował częstszą przewagę prawej komory, jednak nie mógł ustalić zależności przewagi jednej z komór od poszczególnych rodzajów uprawianego sportu.

CZAS TRWANIA POSZCZEGÓLNYCH OKRESÓW EWOLUCJI SERCA W EKG.

Ewolucja w całości (Ev).

W grupie mężczyzn zarówno wytrenowanych, jak i niewytrenowanych, przeciętny czas trwania całej ewolucji serca nieznacznie przekracza normalny czas trwania ewolucji serca człowieka zdrowego w czasie spoczynku (0,800 sek.). Po biegach

czas trwania ewolucji ulega skróceniu, które jest wyraźniejsze u niewytrenowanych. (Tabl. XIII).

TABL. XIII.
(Mężczyźni).

	Wytrenowani		Niewytrenowani	
	Po biegu krótkim	Po biegu długim	Po biegu krótkim	Po biegu długim
Ewolucja skraca się o:	— 37.3%	— 37.2%	— 42.9%	— 47,8%

Podobne cechy spoczynkowego i powysiłkowego czasokresu ewolucji serca wykazuje też badana grupa kobieca (zawodniczki oraz niewytrenowane). (Tabl. XIV).

TABL. XIV.
(Kobiety).

	Wytrenowani		Niewytrenowani	
	Po biegu krótkim	Po biegu długim	Po biegu krótkim	Po biegu długim
Ewolucja skraca się o:	— 24.5%	— 33.9%	— 39.9%	— 41.2%

Ściśle matematycznie miarowa akcja węzła zatokowego nie wydaje się być objawem fizjologicznym. *Wł. Jankowski* podaje, że różnice między najdłuższą i najkrótszą ewolucją mogą dochodzić do 0,1 sek. U *Rosnowskiego* różnice te równają się 0,107 sek. W niniejszych badaniach w grupie mężczyzn wytrenowanych różnica wynosi 0,201 sek., u niewytrenowanych 0,131 sek.

W grupie kobiet niewytrenowanych różnice te wahają się w granicach 0,150 sek. W grupie wytrenowanych różnica jest większa.

Należy wnioskować, iż, zgodnie z szeregiem autorów, różnice te są większe u osób wytrenowanych z powodu znaczniejszego wpływu nerwu błędnego na akcję serca.

Po biegach różnica między najdłuższą i najkrótszą ewolucją uległa zmniejszeniu w obu grupach, przyczem zmniejszenie owe jest większe po biegu długim.

Powyższe zjawisko świadczy o tem, że po wysiłku bardziej wyczerpującym wytwarzanie się bodźców w węźle Keith-Flacka jest bardziej prawidłowe. W czasie przeprowadzonych badań stwierdzono jedynie 1 przypadek niemiarowości zatokowej, która ustępowała po wysiłkach.

Okres T-P.

Jest to okres elektrobierny, pomiędzy zakończeniem zespołu komorowego a początkiem załamka przedsionkowego. W grupie mężczyzn wytrenowanych i niewytrenowanych okres ten zmalał po biegach a w szczególności po biegu długim. Większe skrócenie tego okresu nastąpiło w grupie niewytrenowanych (Tabl. XV).

TABL. XV.
(Mężczyźni),

	Wytrenowani		Niewytrenowani	
	Po biegu krótkim	Po biegu długim	Po biegu krótkim	Po biegu długim
Okres T — P skraca się o:	— 71.5%	— 85.9%	— 83.5%	— 92.2%

Omówione zachowanie się okresu T-P dotyczy również grup kobiecych. Wzrost tego okresu stwierdzono tylko w 2 przypadkach po biegu krótkim (krzywe te należały do znanych lekkoatletek — grupa wytrenowanych). (Tabl. XVI).

TABL. XVI.
(Kobiety).

	Wytrenowani		Niewytrenowani	
	Po biegu krótkim	Po biegu długim	Po biegu krótkim	Po biegu długim
Okres T — P skraca się o:	— 47%	— 70%	— 76.2%	— 80%

Obliczenia wskazują na istnienie równoległości między skracaniem się tego okresu a zmniejszaniem się ewolucji w całości. Z porównania okresu T-P i ewolucji w całości wynika, że okres T-P zmniejszył się prawie dwa razy więcej, niż ewolucja, szczególnie zaś w grupie niewytrenowanych. W grupie wytrenowanych zmniejszenie stosunku $\frac{T-P}{Ev}$ naogół było mniejsze. Jedynie w dwu przypadkach znaleziono nieznaczny wzrost stosunku T-P do ewolucji (jeden należał do mężczyzny, drugi — do kobiety, w grupie wytrenowanych).

Okres P.

Mężczyźni. Zarówno w wytrenowanych, jak i niewytrenowanych, występuje wzrost okresu tego załamka, przyczem po biegu długim zwiększa się czas trwania, który jest nieznacznie dłuższy w grupie niewytrenowanych.

Kobiety. W grupie wytrenowanych po wysiłku krótkotrwałym zaznacza się wydłużenie tego okresu. Po biegu długim okres ten nieznacznie skraca się. (Skrócenie tego okresu po biegach dotyczy również EKG, należącego do zawodniczki Wal.).

W grupie niewytrenowanych okres ten po obu biegach wzrasta szczególnie po biegu długim.

Uzyskane wyniki przemawiają zatem, że u osób niewytrenowanych większe wysiłki powodują znaczniejsze obciążenie przedsionków, czego wyrazem jest zwiększenie załamka P i przedłużenie czasu jego trwania. Zdaniem *Hroma* i *Rosnowskiego,* jednoszczytowe duże P świadczy o przeroście przedsionków, natomiast okres P może być wydłużony wskutek zwiększonej objętości przedsionków.

Okres h (przewodnictwo przedsionkowo-komorowe).

Okres h, czyli czas trwania przewodnictwa przedsionkowo-komorowego przez pęczek *Hiss'a,* u mężczyzn wytrenowanych po biegu krótkim nie ulega zmianie, po biegu długim nieznacznie wzrasta (4,2%). Przeciętna wielkość tego okresu w niniejszych badaniach okazała się wyższą (0,072) w porównaniu z danemi *Rosnowskiego* (0,055). W stosunku do ogólnej ilości osób badanych po biegu krótkim, okres ten zwiększył się u 2-ch osobników, u pozostałych uległ zmniejszeniu. Po biegu długim okres h zwiększył się w 2 przypadkach, w jednym pozostał bez zmian i w jednym zmniejszył się.

W grupie osobników niewytrenowanych przeciętne wartości okresu h okazały się nieznacznie większe, niż u wytrenowanych. Okres ten zmniejszył się po biegu krótkim i długim, przyczem zmniejszenie po biegu krótkim okazało się większe. Na ogólną ilość badanych (11) okres ten po biegu krótkim zwiększył się tylko w jednym przypadku, a w pozostałych uległ zmniejszeniu. Po biegu długim okres h uległ zwiększeniu w 2-ch przypadkach, a w pozostałych zmniejszył się. Ze stosunku okre-

su $\frac{h}{Ev}$ wynika, że nie zachodzi równoległość w zmniejszaniu się tych wielkości. W przeprowadzonych badaniach wskaźnik ten wzrasta.

W grupach wytrenowanych w biegu krótkim i długim, we wszystkich przypadkach stosunek okresu h do ewolucji serca zwiększył się. W grupie niewytrenowanych po biegu krótkim uległ zwiększeniu za jednym wyjątkiem, po biegu długim zwiększył się u wszystkich osobników.

Stosunek okresu h do okresu komorowego w całości (okres Q-T) u wytrenowanych ujawnia brak równoległości w zmniejszaniu się tych okresów. Okres komorowy po obu rodzajach biegu zmniejsza się podczas, gdy wskaźnik $\frac{h}{Q\text{-}T}$ ulega zwiększeniu. (28%). W stosunku do ogólnej ilości badanych po biegu krótkim zwiększenie i zmniejszenie wskaźnika spotyka się równie często. Po biegu długim wskaźnik się zwiększa za wyjątkiem jednego przypadku. W grupie mężczyzn niewytrenowanych $\frac{Q\text{-}T}{h}$ świadczy o mniejwięcej równoległem zmniejszaniu się porównywanych okresów. Powyższy stosunek w niniejszych badaniach po obu rodzajach biegów ulega zmniejszeniu (po biegu krótkim zmniejszył się o 17,6%, po biegu długim — 6,2%). Z dokładniejszego obliczenia wynika, że tak po jednym, jak i drugim biegu, stosunek $\frac{h}{T}$ w 7 przyp. wzrasta, w 4 przyp. ulega zmniejszeniu.

W grupie kobiet wytrenowanych czas trwania okresu h prawie że nie różni się od czasu trwania w grupie mężczyzn wytrenowanych. Po biegu krótkim okres ten zmniejszył się (przeciętnie o 10%). Na 8 badanych zawodniczek w 2 przyp. wydłużył się, w jednym pozostał bez zmian, a w pozostałych uległ zmniejszeniu. Po biegu długim, okres ten wydłużył się przeciętnie o 26,8%. Na ogólną ilość badanych omawiany okres w 3 przyp. zmniejszył się przy zwiększeniu się w pozostałych przypadkach. U najlepiej usprawnionej zawodniczki (Wal.) okres ten tak po biegu krótkim, jak i długim, wydłużył się, przyczem wydłużenie było wyraźniejsze po biegu długim (46.1% i 69.2%).

W grupie kobiet niewytrenowanych przeciętna wartość dla czasu trwania okresu h prawie że nie różni się od czasu trwania tego okresu dla kobiet wytrenowanych. Po obu biegach okres ten skraca się, przyczem po biegu długim skrócenie to jest minimalne (1.4%). Na ogólną liczbę badanych po biegu krótkim w jednym przyp. czas trwania tego okresu pozostał bez zmian, w 6 przyp. zmniejszył się i w 6 zwiększył się. Po biegu długim wystąpiło zmniejszenie lub też zwiększenie w równej liczbie przypadków. Ze stosunku h do ewolucji wynika, że w grupie wytrenowanych brak jest równoległości w zmniejszaniu się tych okresów. W omawianych badaniach stosunek ten uległ zwiększeniu, szczególnie wyraźnemu po biegu długim (+90.2%), podczas gdy po biegu krótkim zwiększył się (tylko o 23.8%). U nikogo z badanych nie stwierdzono zmniejszenia wskaźnika $\frac{h}{Ev}$.

U kobiet niewytrenowanych, podobnie jak u wytrenowanych, stosunek h do ewolucji wzrasta, przyczem wzrost ten nie jest tak duży, jak w grupie wytrenowanych. (Po krótkim biegu stosunek zwiększył się o 57.3%, po biegu długim 69%). Bliższa analiza wykazuje, że po biegu krótkim stosunek ten wzrasta u wszystkich badanych, po biegu długim zwiększenie również jest regułą za wyjątkiem jednego przypadku zmniejszenia.

Stosunek okresu h do całego okresu komorowego (Q-T) zwiększa się niezależnie od stopnia wytrenowania, przyczem zwiększenie to wyraźniejsze jest po biegu długim u wytrenowanych. Na całą liczbę badanych wskaźnik ten u wytrenowanych zmniejszył się w 3 przyp., a uległ zwiększeniu w 5 przypadkach. Po biegu długim wystąpiło zwiększenie jako reguła. W grupie niewytrenowanych, omawiany wskaźnik po biegu krótkim zmniejszył się w 3 przyp., w pozostałych 9 wzrósł. Powyższy wskaźnik uległ zmniejszeniu po biegu długim w 2 przyp., a w pozostałych się zwiększył.

Wyniki te wskazują na brak równoległości pomiędzy zmniejszaniem się okresu h a zespołem komorowym (Q-T). Pomimo skrócenia okresu pracy komór, czas przewodnictwa przedsionkowo-komorowego prawie że nie ulega przyspieszeniu. Zjawisko to jest szczególnie wyraźne w grupach wytrenowanych (mężczyźni i kobiety).

Okres R (pobudzenie komór).

Zgodnie z *Rosnowskim* ograniczono się do oceny czasu trwania pobudzenia komór na podstawie czasu trwania załamka R.

W grupie wytrenowanych mężczyzn okres R po biegu krótkim ulega skróceniu lub też przedłużeniu w równej liczbie obserwowanych przypadków. U wszystkich badanych okres R ulega wydłużeniu po biegu długim (3.3%). U osobników niewytrenowanych okres zał. R po biegu krótkim okazuje wydłużenie (12.3%). Na całą liczbę badanych okres ten zmniejszył się tylko w jednym przypadku, w 2 pozostał bez zmian, a w 7 wydłużył się. Po biegu długim natomiast okres R ulega skróceniu (3.5%), poza dwoma przypadkami wydłużenia oraz 3, w których pozostaje bez zmian.

W grupie kobiet wytrenowanych okres R po obu biegach uległ wydłużeniu (po biegu krótkim 3.2%, po biegu długim 6.9%). W grupie kobiet niewytrenowanych natomiast, po obu biegach okres ten uległ skróceniu (po krótkim o 3.3%, a po biegu długim o 9.2%). W następstwie skrócenia okresu skurczu komór (Q - T) uwidocznił się we wszystkich badanych grupach (po obu biegach) wzrost wskaźnika $\frac{R}{Q - T}$ Występujący z reguły wzrost tego wskaźnika wynosi w grupie mężczyzn wytrenowanych po biegu krótkim przeciętnie 27.5%, po biegu długim 23.1%. W grupie niewytrenowanych wskaźnik ten wzrasta po biegu krótkim o 42.6%, po biegu długim o 31.5%. W grupie powyższej zanotowano jeden przypadek zmniejszenia się tego wskaźnika przy jednoczesnem znacznem skróceniu się okresu R.

W grupie kobiet wytrenowanych po biegu krótkim przeciętny wzrost wskaźnika $\frac{R}{Q - T}$ wynosi 21.6% wartości spoczynkowej, po biegu długim 34.6%. Wzrost ten zachodzi podobnie jak w grupie męskiej u wszystkich badanych osób. W grupie kobiet niewytrenowanych omawiany wskaźnik po biegu krótkim wzrasta o 27.6%, po biegu długim o 25.6%. Zmniejszenie tego wskaźnika zachodzi tylko w jednym przypadku i to po biegu długim. Podobnie jak w grupie męskiej zaznacza się przy tem nadmierne skrócenie okresu R (33.3%). Powyższe wyniki wskazują, że czas pobudzenia mięśnia komór, pomimo przyśpieszenia

akcji serca pod wpływem wysiłku fizycznego nieznacznie skraca się w grupie niewytrenowanych, natomiast w grupach wytrenowanych ulega wyraźnemu wydłużeniu.

Okres R - T (okres największego napięcia elektro-motorycznego komór).

W grupie mężczyzn wytrenowanych i niewytrenowanych występuje jako reguła skracanie tego okresu po obu biegach, przyczem jest ono wyraźniejsze w grupie niewytrenowanych.
U kobiet również zaznacza się we wszystkich przypadkach skrócenie tego okresu w obu grupach, przyczem wyraźniejsze jest ono w grupie niewytrenowanych. Skrócenie tego okresu u mężczyzn wytrenowanych po biegu krótkim wynosiło średnio — 28.2% w stosunku do wielkości spoczynkowej, po biegu długim 29.6%. W grupie niewytrenowanych skrócenie po biegu krótkim wynosiło 33.9%, po biegu długim 40.9%.

U kobiet wytrenowanych po biegu krótkim okres ten skrócił się o 21.7%, po biegu długim o 31.1%. U niewytrenowanych, skrócenie wynosiło 30.4% po biegu krótkim i 34.2% po biegu długim. Stwierdzono dalej, że okres R - T skraca się niewspółmiernie mało do okresu T - P, jak to wynika ze stosunku tych wielkości. W grupie mężczyzn wytrenowanych po biegu krótkim zwiększa się on o 147.6%, a po biegu długim o 175.4%. W grupie mężczyzn niewytrenowanych wskaźnik $\frac{R - T}{T - P}$ po biegu krótkim zwiększył się o 126.6%, zaś po biegu długim o 161.3%. Zwiększenie wskaźnika wystąpiło u wszystkich badanych osobników.

W grupie kobiet niewytrenowanych po biegu krótkim wskaźnik ten wzrósł o 54.9%, po biegu długim o 46.8%. W grupie wytrenowanych po biegu krótkim wzrósł o 38.4%, a po długotrwałym wysiłku o 136%. Wskaźnik ten wzrasta u wszystkich osób po obu biegach, za wyjątkiem 2 przypadków (u wytrenowanych) zmniejszenia po biegu krótkim. Po biegu długim wskaźnik wymienionych osobników również wzrasta.

Z powyższego wynika, że czas pozostawania komór w stanie elektromotorycznego napięcia (okres R - T) po wysiłku fizycznym ulega skróceniu, przyczem czas ten bardziej się skraca u niewytrenowanych aniżeli u wytrenowanych.

Skrócenie okresu R-T jest przytem znacznie mniejsze, aniżeli skrócenie całkowitej ewolucji serca.

Stosunek R-T do zespołu komorowego w całości (Q-T) zmniejsza się w obu grupach męskich bez wyjątku (wytrenowanych i niewytrenowanych), przyczem zmniejszenie to wystąpiło wyraźniej w grupach osobników niewytrenowanych.

U kobiet wytrenowanych jak również niewytrenowanych, z wyjątkiem jednego przypadku wzrostu wskaźnika u każdej z grup, wystąpiło jego zmniejszenie. (EKG zawierające wzrost wskaźnika należały do osób mniej sprawnych fizycznie).

Badania nasze wskazują, że wskutek przyśpieszonej czynności serca, okres najwyższego elektro-motorycznego napięcia komór nie skraca się równolegle do okresu skurczowego komór w całości (szczególnie w grupie niewytrenowanych). To też okazuje się, że u osób niewytrenowanych okres trwania napięcia elektro-motorycznego komór, skraca się po wysiłku bardziej, aniżeli okres skurczowy komór w całości.

Okres T

(Okres powrotu komór ze stanu pobudzenia do stanu spoczynkowego).

Okres zał. T uległ z reguły zmniejszeniu po obu biegach u wszystkich osobników (szczególnie w grupach niewytrenowanych). Wartość tego zmniejszenia nie przekracza 25%. Przypadków przedłużenia omawianego okresu zanotowano: 1 po biegu krótkim i 2 po biegu długim. W grupie mężczyzn wytrenowanych okres T po biegu krótkim ulega zmniejszeniu bez wyjątku, zaś po biegu długim przedłużenie i skrócenie okresu wystąpiło w równej liczbie przypadków. W grupie kobiet niewytrenowanych po obu biegach okres tego załamka zmniejszył się. W grupie kobiet wytrenowanych zaś okres ten zwiększył się w jednym przypadku, w jednym pozostał bez zmian, a w innych uległ zmniejszeniu. Po biegu długim okres zał. T we wszystkich przypadkach zmniejszył się.

Wskaźnik $\frac{T}{Q-T}$ (czas trwania zał. T do zespołu komorowego w całości) uległ zwiększeniu po obu biegach we wszystkich grupach. U mężczyzn niewytrenowanych po biegu krótkim zmniejszył się w 3 przypadkach, a w pozostałych zwiększył się.

Po biegu długim w 2 przypadkach zmniejszył się, a w pozostałych 9 uległ zwiększeniu. W grupie mężczyzn wytrenowanych tak po biegu krótkim jak i długim w 1 przypadku zmniejszył się, w pozostałych uległ zwiększeniu. W grupie kobiet niewytrenowanych po biegu krótkim stosunek $\frac{T}{Q - T}$ w 4 przypadkach uległ zmniejszeniu, w 8 przypadkach zwiększył się. Po biegu długim zwiększenie i zmniejszenie jest równie częste. W grupie kobiet wytrenowanych po biegu krótkim zmniejszył się w 2 przypadkach, u pozostałych 6 osób uległ zwiększeniu. Po biegu długim obukierunkowe zmiany wystąpiły w tej samej liczbie przypadków.

Rozbiór powyższych danych wykazuje, że okres zał. T skraca się niewspółmiernie mało w porównaniu z czasem trwania zespołu komorowego (Q - T).

Okres Q - T i T - Q.

Wymienione okresy we wszystkich grupach i po obu biegach uległy skróceniu, przyczem okres T - Q skraca się w dwójnasób w porównaniu ze zmianami Q - T. Skracanie tych okresów występuje wyraźniej u niewytrenowanych niż u wytrenowanych. Skrócenie okresu Q - T wystąpiło we wszystkich przypadkach. To samo dotyczy skrócenia okresu T - Q (niewytrenowani 50% i 63%, wytrenowani 32% i 55%). Wyjątkowo w dwu przypadkach zanotowano po biegu krótkim u kobiet niewytrenowanych przedłużenie ostatniego okresu. Okres Q - T u osób niewytrenowanych zmniejszył się o 21% i 27%, u wytrenowanych o 16% i 24%. W przypadkach, których okres T - Q po biegu krótkim wzrósł, po biegu długim uległ zmniejszeniu.

Wskaźnik $\frac{Q - T}{T - Q}$ (stosunek czasu trwania zespołu komór w całości — skurcz komór — do okresu elektrobiernego komór). Wskaźnik ten wzrasta we wszystkich grupach. Wzrost wskaźnika w grupach wytrenowanych wynosi 27% i 87% wartości spoczynkowej, w grupach niewytrenowanych 47% i 95%.

STRESZCZENIE WYNIKÓW.

Ogólne zestawienie wyników badań osobników niewytrenowanych i wytrenowanych uwidacznia dla każdej z wymienionych grup swoiste cechy EKG, zróżnicowanie których nasuwa następujące wnioski:

I. W zespole osobników niewytrenowanych, a więc nieprzystosowanych do pokonywania dużych wysiłków, w obrazie EKG po wysiłku stwierdza się: 1) zał. P w odpr. I zmniejsza się, w odpr. II i III wzrasta wyraźniej niż u wytrenowanych. 2) Zał. T zwiększa się po wysiłku u niewytrenowanych w mniejszym stopniu niż u wytrenowanych. 3) Cała ewolucja serca wyraźnie skraca się zwłaszcza po wysiłku długotrwałym. Skrócenie to przejawia się głównie kosztem okresu elektrobiernego T - P (pauzy serca). 4) Czas trwania skurczu komór (okres Q - T) skraca się szczególnie wyraźnie po wysiłku długotrwałym, kosztem okresu trwania komór w pobudzeniu skurczowem (okres R - T) oraz okresu rozskurczowego (okres zał. T). 5) Okres h (przewodnictwo przedsionkowo - komorowe) nieznacznie skraca się lub też pozostaje bez zmian. 6) Okres zał. R po wysiłku krótkotrwałym zachowuje się różnie, skraca się natomiast po wysiłku długotrwałym. 7) Niemiarowość zatokową zaobserwowano w jednym tylko przypadku (mężczyźni — niewytrenowani). 8) Po biegach zaznacza się przeciążenie komory lewej, którego wyrazem są zmiany w kierunku przewagi komory prawej. (Zmniejszenie się wskaźnika $\frac{R_1}{R_3}$). 9) Wysokość zał. R zachowuje się niejednolicie.

II. U osobników wytrenowanych w obrazie EKG stwierdzono: 1) Zał. P w odpr. I zmniejsza się, zaś w odpr. II i III zwiększa się, jednak w mniejszym stopniu niż w grupie niewytrenowanych. 2) Zał. T wzrasta znaczniej aniżeli u niewytrenowanych. 3) Ewolucja w całości ulega mniejszemu skróceniu aniżeli w grupie niewytrenowanych. 4) Czas trwania skurczu komór (okres Q - T) skraca się znacznie mniej w porównaniu z niewytrenowanymi. 5) Okres h (przewodnictwo przedsionkowo-komorowe (posiada tendencje do wydłużania się szczególnie po wysiłku długotrwałym (u niewytrenowanych zmniejsza się lub pozostaje bez zmian). 6) Okres zał. R ulega wydłużeniu, podczas gdy u niewytrenowanych skraca się. 7) Występowania nie-

miarowości nie stwierdzono. 8) Wskaźnik $\frac{R_1}{R_3}$ zachowuje się różnie. 9) Wysokość zał. R wykazuje tendencje do wzrostu. 10) Wskaźnik $\frac{Q - T}{T - Q}$ wzrasta dwa razy mniej aniżeli u niewytrenowanych.

Zestawienie wyżej podanych faktów pozwala wnioskować, że wyraźniejsze zwiększenie się zał. T bezpośrednio po wysiłku w grupie wytrenowanych jest prawdopodobnie wyrazem silniejszego rozkurczu komór, ułatwiającego przedostawanie się krwi z przedsionków do komór. Mniejsze obciążenie przedsionków u jednostek wytrenowanych wyraża się w mniej zaznaczonem zwiększeniu się zał. P niż u niewytrenowanych. Znaczne skrócenie ewolucji u niewytrenowanych czyli większa częstość skurczu, przejawia się tam, gdzie komora mniej efektywnie pracując nie przetacza dostatecznej ilości krwi i stara się ten niedobór wyrównać zwiekszoną ilością skórczów. Wydłużenie się okresu h, okresu zał. R oraz nieznaczne skrócenie się okresu R - T i całej ewolucji w grupie wytrenowanych, stanowi prawdopodobnie wyraz wagotonicznego nastawienia serca jakie wytwarza się na skutek systematycznego treningu fizycznego.

Pracę niniejszą wykonałem pod kierunkiem P. Doc. Ppłk. Dr. Wł. Missiuro, któremu składam serdeczne podziękowanie, za wskazówki i okazaną pomoc, których mi nie szczędził. Dziękuję również tym wszystkim, którzy bezinteresownie przyczynili się do zebrania materjałów eksperymentalnych.

PIŚMIENNICTWO.

Deschamps P. Elektrokardiografja kliniczna. (Przekład polski 1933 r.).
Eiger M. Podstawy fizjologiczne elektrokardiografji. Kraków, 1911 r.
Eiger M. Podstawy fizjologiczne elektrokardiografji, część II. Kraków, 1915.
Franke M., Lankosz J. Polska Gaz. Lek. Nr. 51 1935.
Groedel F. Untersuchungen zur Durchschnittsform des Elektrokardiogramms von herzgesunden Menschen. Frankfurt 1920.

Hausz W. Arb. physiol. 7 (280) 1933.
Hogerwerf S. Arb. physiol. 2 (61 1929.
Hrom i Rosnowski M. Polskie Arch. Med. Wewn. 8. Z. 2. 1930.
Janowski W. Nowiny Lekarskie. Rocznik 31. zesz. 2.
Kiersnowski T. Przegl. Fizjol. Ruchu Nr. 1—2. 1935.
Knoll W. Arb. physiol. 5. (424) 1932.
Ludwig W. Wien. klin. Wochenschr. 46. (1479 i 1512) 1933.
von Mentzingen A. Klin. Wochenschr. 13. (88) 1934.
Messerle. Die Sportärztl. Ergebn. de II olypm. Winterspiele in St. Moritz 1928 r.
Rosnowski M. Przegl. Sport. Lek. 3-4. 1930.
Rosnowski M. Lek. Wojsk. 16. Nr. 9/12. 1931.
Rosnowski M. Lek. Wojsk. Nr. 11—12. 1934.
Rosenberg I. Wien. klin. Wochenschr. Nr. 21. 1934.
Schlomka G. Arb. physiol. 8. (80) 1934.
Schlomka G. u. Reindell. Arb. physiol. 8. (172) 1934.
Wasilkowska-Krukowska. Przegl. Sport. Lek. Nr. 2. 1929.
Walawski J. Zjazd Przyr. i Lek. Pol. Poznań 1933.
Walawski J., Rasolt H. Med. Dośw. i Społ. (85) 1933.

(Zakład Fizjologji Centralnego Instytutu Wychowania Fizycznego
im. Pierwszego Marszałka Polski Józefa Piłsudskiego
i Pracownia Rady Naukowej Wychowania Fizycznego.
Kierownik Doc. Dr. W. Missiuro).

B. Schmelkes.

BADANIA FIZJOLOGICZNE SPORTÓW WODNYCH.
I. PRZYCZYNEK DO BADAŃ WYMIANY ODDECHOWEJ PODCZAS PŁYWANIA.

Physiologische Untersuchungen über Wassersporte.
I. Ein Beitrag zur Untersuchung des Gaswechsels während des Schwimmens.

Wpłynęło 15.XII.1935.

Der Gaswechsel während des Schwimmens bildete den Gegenstand der Untersuchungen von *Liliestrand* und *Stenström;* diese Forscher wählten jedoch ausschliesslich gut trainierte Individuen zum Objekte ihrer Beobachtungen.

Unsere Untersuchungen hatten zum Ziel, auch den Einfluss des Trainings auf den Gaswechsel zu ermitteln, ferner beobachteten wir, inwiefern die Verschiedenheit der Schwimmstile im Gaswechsel zum Ausdruck kommt, schliesslich untersuchten wir auch das Verhalten des Gaswechsels während der Erholung.

Der Untersuchte ruhte während 30 Minuten in liegender Position; sodann schwamm er entlang eines Molos, auf dem sich der Beobachter befand. Die Atmungsluft wurde dem Schwimmer mittels eines 1 Meter langen Gummischlauches zugeführt, die ausgeatmete Luft wurde mittels eines 4 Meter langen Schlauches in Gasbehältern (nach Douglas) gesammelt. Es wurden nachfolgende Versuchsreihen ausgeführt:

1. Der Schwimmer schwamm während zwei Minuten mit einer konstanten Geschwindigkeit von 40 Mtr. (Min. Serie I.).
2. Der Schwimmer schwamm mit einer Höchstgeschwindigkeit während einer Minute. (Serie II).
3. Der Schwimmer schwamm mit einer beliebigen Geschwindigkeit. (Ungeübte Schwimmer). (Serie III).

Die Untersuchung erfolgte nach den Methoden von Douglas-Haldane.

Der Sauerstoffverbrauch während des Schwimmens beträgt bei einer Geschwindigkeit von 40 Mtr. (Min. im Mittel 2446 ccm 0_2 pro Minute, also den 6 bis 8-fachen Betrag des Verbrauches während der Ruhelage. (Tab. II).

Interessante Ergebenisse zeitigte die Beobachtung des Verhaltens der Lungenventilation während des Schwimmens. (Tab. III). Bei Höchstgeschwindigkeiten tritt eine ausgesprochene Hyperventilation auf, die sich im Sinken des Ausnutzungsgrades des eingeatmeten Sauerstoffs von 41.2 auf 37.9 ccm O_2/1 Liter Vent. ausdrückte. Dieser Vorgang wird durch die Häufigkeit und die relative Tiefe der Atembewegungen verursacht. (Im Mittel 41 pro Minute). Die Atemtiefe stabilisiert sich sofort unabhängig von der Atemfrequenz auf etwa 1800 ccm und unterliegt nur geringen Schwankungen. (Tab. III). Es wurde auch ermittelt, dass Individuen mit einem grossem Lungenvolum einen geringeren Energiebetrag während der Schwimmens aufwenden.

Untrainierte Individuen zeichnen sich von den austrainierten durch einen viel grösseren 0_2 — Verbrauch und bedeutend höhere Werte des Respirations Quotienten aus. Auch weist die Ventilation der Lunge und die Atemtiefe einen anderen Verlauf als bei anderen Sportarten auf. Die Ventilation ist bei Untrainierten viel geringer (Tab. IV), der Atem viel flacher und schneller (Tab. VI). Verursacht wird dies durch die besondere Art des Atmens der Untrainierten. Ihr Atem ist unregelmässig unrythmisch und mit den Bewegungen der Arme nicht coordiniert. (Abb. 2).

Erholung. Sowohl nach der 1 Minute, als auch nach der 2 Minuten dauernden Schwimmarbeit, stellen sich die Ruhewerte des Gaswechsels bereits nach einer 15-minutigen Erholung ein.

Am schnellsten fällt der Sauerstoffverbrauch, der bereits in der dritten Erholungsminute um 72% geringer ist (Tab. V),

ferner die Ventilation. Die Atembewegungen werden in den ersten 2 Rastminuten tiefer und viel langsamer (Tab. VI). Der Respirationsquotient wächst jedoch weiter und erreicht in der fünften Erholungsminute sein Maximum (max. 1.870).

Der Unterschied in dem Energieaufwande beim Rasten auf dem Lande und im Wasser ist nicht bedeutend. Der Sauerstoffverbrauch während der Ruhe im Wasser beträgt ungefähr 110% der entsprechenden Werte während der Ruhe auf dem Lande.

Im Allgemeinem ist der Energieaufwand während des Schmimmens sehr gross. Dies beweist die Intensität dieser Art Arbeitsleistung. Der Wertbetrag aüssert sich im Verbrauche von etwa 5 Litern O_2 pro Minute der geleisteten Schwimmarbeit.

Crawl und Brustschwimmen. Die Verschiedenheit der Verteilung des Arbeitsleistung auf die oberen und unteren Gliedmassen bei den beiden Schwimmstilen äussert sich beim Crawl:

in den häufigeren Atembewegungen (Tab. VIII); die Atemtiefe ist im Crawlschwimmen bei grossen Geschwindigkeiten geringer als beim Brustschwimmen, u. z. mit Rücksicht auf die allzu kurze Einatmungsdauer bei haüfigeren Atembewegungen. Der Sauerstoffverbrauch während des Schwimmens, sowie während der ganzen Erholungsperiode ist beim Crawl grösser (Tab. IX). Ähnlich die Kohlensäureausscheidung.

Das Crawlschwimmen erfordert unter gleichen Bedingungen auch einen grösseren Energieaufwand als das Brustschwimmen. (Tab. X). Es bildet infolgedessen einen intensiveren Arbeitsprozess als das Brustschwimmen.

Wejrzenie w istotę procesów, zachodzących w czasie pracy fizycznej, pozwoliło na pogłębienie i gruntowne zapoznanie się z szeregiem zmian funkcjonalnych ustroju, towarzyszącym poszczególnym postaciom wysiłku sportowego. Za pomocą badania wymiany gazowej określono wydatek energetyczny ustroju podczas wykonywania wielu ćwiczeń sportowych, a niektóre z nich (bieg, chód, jazda na rowerze, turystyka i inne) były niejednokrotnie kontrolowane i uzupełniane nowemi zdobyczami

wiedzy. Inne rodzaje pracy są dotychczas mniej zbadane, do tych ostatnich należy pływanie.

Odrębne warunki pracy w środowisku wodnem i związane z tem trudności metodyczne stały zapewne na przeszkodzie bliższemu poznaniu procesów przemian energetycznych, zachodzących w czasie pływania. Dokładne dane, tyczące się tego zagadnienia, spotykamy jedynie w pracy *G. Liliestranda* i *N. Stenströma*, którzy oznaczali wymianę gazową przy różnych szybkościach pływania stylem klasycznym i trudgeonem. Wyniki ich doświadczeń, nie uwzględniające zużycia tlenu w czasie wypoczynku, nie dają pełnego obrazu o koszcie energetycznym pływania. Poza tą pracą mamy tylko kilka wzmianek w literaturze. *(R. du Bois Reymond, Zuntz, Loewy, Müller i Caspari).*

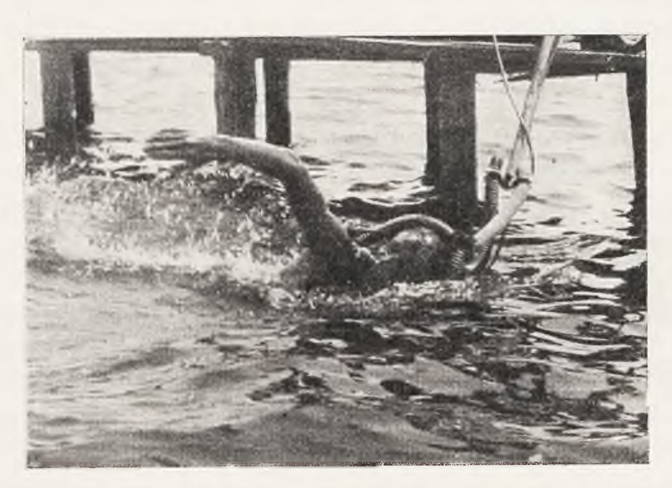
Celem niniejszej pracy było zbadanie wymiany oddechowej podczas pływania z uwzględnieniem okresu wypoczynku. Usiłowano również stwierdzić zasadnicze przynajmniej różnice w dwóch najbardziej stosowanych stylach, t. j. stylu klasycznym i crawlu, uwzględniając przytem wpływy wytrenowania.

METODYKA.

Metodyka badania wymiany gazowej w pływaniu wymaga w porównaniu do innych rodzajów pracy specjalnych urządzeń. Konieczność dostarczania przebywającemu w środowisku wodnem powietrza do oddychania, zmontowanie systemu rur do- i odprowadzających powietrze w sposób niekrępujący i umożliwiający swobodne ruchy pływaka, niemożność umieszczenia na grzbiecie badanego zbiornika (worka Douglasa) oto główne trudności, które w badaniach nad pływaniem są do pokonania. Niemniej ważną przedstawia się sprawa podążania za pływającym w celu umożliwienia mu pływania ze stałą szybkością. *Liliestrand* posługiwał się w tym celu łódką, do której prowadziły 4-metrowe węże gumowe od maski oddechowej. Węże w drodze od pływającego do łodzi spoczywały na kole ratunkowem lub utrzymywane były w powietrzu na drążku. Sposób ten, jak wykazały doświadczenia orjentacyjne, nie okazał się zadowalającym: przedewszystkiem utrzymywanie prostolinijnego kierunku przez łódź na dłuższej drodze było bardzo trudne, a w czasie większej fali lub wiatru wręcz niemożliwe. Odchylenia od wyznaczonego kierunku (nawet drobne) pociągały za sobą pływa-

ka, tak, że dokładne ustalenie przebytej drogi było rzeczą niewykonalną. Stosowana przez *Liliestranda* czterometrowa rura wdechowa powodowała znaczny opór przy oddychaniu.

Doświadczenia nasze, w których zastosowaliśmy metodę *Douglas'a-Haldane'a,* wykonywaliśmy więc w sposób odmienny od *Liliestranda,* wykorzystując pomost (molo), wchodzący wgłąb jeziora na 200 m. Ostatnie 40 do 50 m. nadawało się do przeprowadzania prób. Badany płynął wzdłuż pomostu z określoną szybkością, a badający postępowali równocześnie na pomoście. Dopływ powietrza wdechowego w czasie pływania zapewniono przez połączenie wentylu wdechowego z jednometrową gumową rurą karbowaną, której wolny koniec, przytwierdzony do



Rys. 1.

żerdzi, utrzymywano nad wodą. Na wentyl wydechowy zakładano rurę gumową 4 m. długości, którą łączono z workami Douglasa. Razem z rurą wydechową biegła rurka do bębenka Marey'a, rejestrującego rytm oddechowy na poligrafie *Boullitte'a.* Oba węże (doprowadzający i odprowadzający powietrze) z rurką rejestrującą liczbę oddechów, przechodziły po obu stronach szyji ku tyłowi, a następnie ku górze, gdzie przytwierdzono je razem w okolicy ciemieniowej dodatkową taśmą do czepka, przytrzymującego maskę. Od miejsca tego obydwa węże prowadziły w górę, umocowane przez metalowy pierścień na 4-metrowej żerdzi, którą nosił badający. Rura doprowadzająca powietrze dochodziła więc tylko do początku żerdzi, odprowadzająca zaś wraz

z rurką do zapisywania rytmu oddechowego zdążały wzdłuż żerdzi do worków Douglasa i poligrafu, noszonych przez badających. Węże, przytwierdzone w wyżej opisany sposób, zupełnie nie krępowały ruchów pływaka.

Badania przeprowadzono w Brasławiu w czasie obozu wodnego na słuchaczach Centr. Inst. Wych. Fiz. im. Pierwszego Marszałka Polski Józefa Piłsudskiego.

Doświadczenia odbywały się zwykle w 2 do 3 godzin po spożytem śniadaniu. Poszczególne doświadczenie obejmowało oznaczenie wymiany gazowej: w czasie spoczynku, po 30-minutowej adaptacji do oddychania w masce, w czasie pływania i wreszcie w okresie wypoczynku. Wymianę oddechową w czasie pływania badano w sposób ciągły (bez przerw), zbierając powietrze do jednego lub dwóch worków, zależnie od czasu trwania pracy.

Po ukończeniu pływania badany natychmiast kładł się na pomost i wypoczywał w pozycji leżącej. Wymianę gazową badano w 1, 2, 3, 5, 7, 10, 12 lub 15 min. po pracy, w którym to czasie u większości osobników następował zupełny wypoczynek. Przy niesprzyjających warunkach atmosferycznych (wiatr, zimno) nie uzyskiwano we wskazanym czasie powrotu do stanu spoczynkowego. U pływaków, leżących bez ruchu, występowało wówczas uczucie zimna, nawet dreszcze, co uniemożliwiało osiągnięcie wartości spoczynkowych.

Wykonane doświadczenia dają się ująć w 3 serje:

Serja I: Pływanie stylem klasycznym i crawlem z szybkością stałą 40 m/min. przez dwie minuty, t. j. 80 m w ciągu 2 minut.

Serja II: Pływanie stylem klasycznym i crawlem z szybkością maksymalną dla danego pływaka (52 do 65 m/min). Czas pływania: 1 minuta.

Serja III: Pływanie stylem klasycznym i crawlem z szybkością dowolną (33 — 40 m/min.) osobników *niewytrenowanych*. Czas pływania: 1 minuta.

OMÓWIENIE WYNIKÓW.

Jak widać z protokularnych danych (Tab. XII), warunki badania nie wpłynęły na średni stan wymiany spoczynkowej. Wartości ilorazu oddechowego wahają się od 0.74 do 0.98, śred-

TAB. I.
Osobnicy badani.
Versuchpersonen.

Osobnik *Vers. pers.*	Nr. dośw. *Nr. d. Experim.*	Wiek *Alter*	Wzrost *Körperhöhe* cm	Waga *Gewicht* kg	Pow. ciała *Körperfl.* m^2	Poj. płuc *Lungenvol.* cm^3	Uwagi *Bemerkungen*
S. C.	1, 4, 9, 13, 15,	21	167	63	1.70	5230	Pływa b. dobrze klas. i crawlem
B. B.	2, 22,	24	165,5	63	1.69	4000	B. dobrze crawlem; klas. nie pływa
M. K.	3	23	174,8	83	1.98	4500	Pływa powoli klas.
I. J.	5, 10, 14, 19,	20	174	68	1.82	5200	Pływa b. dobrze i swob. klas. i crawl.
K. E.	6	25	173,4	66	1.79	3450	Pływa dość ciężko crawlem
B. S.	7, 21, 25,	26	179	77	1.96	4900	Pływa dobrze klas.
K. W.	8, 11, 12,	24	160	60	1.62	3800	Pływa dobrze klas. i crawl. (ost. lep.)
Niewytrenowani:							
L. K.	17	23	174	67	1.81	4450	Pływa słabo, spokoj.
S. A.	20	28	179,5	76	1.95	—	Pływa swob., styl. słabo
M. A.	23, 24,	23	167,5	61	1.69	4050	Pływak początkujący
K. B.	26	21	160	62	1.65	—	Pływa dość dobrze
K. Z.	27	21	171	55	1.64	—	Pływa dość dobrze

nia wynosi 0.87. Przypadki nieco podwyższonego ilorazu tłumaczyć należy badaniem przemiany nie podstawowej, a spoczynkowej, przyczem pożywienie na obozie było w przeważającej części węglowodanowe, przystosowane do dużego wysiłku fizycznego. Inne wartości średnie wynosiły:

Liczba oddechów na minutę	15
głębokość oddechu	492 cm^3
wentylacja	7.86 litr./min.
zużycie tlenu	316 cm^3/min.

Porównując dane wymiany gazowej okresów spoczynku i pracy, stwierdzamy znaczne wzmożenie wymiany oddechowej. Wzmożenie to następuje bardzo szybko; od pierwszej chwili rozpoczęcia pływania krzywe poszczególnych elementów oddychania wzrastają stromo ku górze. Współdziałanie bodźców psychogennych, występujących na początku pracy, i bodźców termicznych w chwili zetknięcia się powierzchni ciała z zimną wodą, wywołuje nadczynność ośrodka oddechowego. Następuje zwiększenie liczby oddechów i ich pogłębienie, zwiększenie wentylacji, zużycia tlenu i wydalania CO_2.

Zużycie tlenu.

Zasadniczą cechą, wskazującą na wzmożenie przemian energetycznych i określającą ich intensywność, jest stopień zapotrzebowania tlenu. Już dawniejsi badacze, a zwłaszcza *Krogh* i *Lindhard* stwierdzili, że od pierwszej chwili zwiększenia pracy układu mięśniowego zaczynają działać czynniki regulujące, przystosowujące krążenie i oddychanie do nadczynności ruchowej. Pobieranie tlenu wzrasta w zależności od intensywności pracy.

W pływaniu stwierdził *Liliestrand* dwojakiego rodzaju zależność zużycia O_2 od szybkości; jedna w formie linji prostej, wznoszącej się równomiernie w górę w miarę wzrostu szybkości, drugą w formie hyperboli o małych wartościach początkowych i szybkim wzroście w górę. To dwojakie zachowanie się funkcji zużycia O_2 tłumaczy autor różnem ustawieniem się ciała w wodzie w czasie pływania. Ukośne wobec poziomu posuwanie się ciała jest wypadkową dwóch składowych, z których tylko pozioma posuwa ciało naprzód; poza tem takie ustawienie zwiększa t. zw. „płaszczyznę czołową”, od wielkości której zależny jest opór wody. Poziome ustawienie natomiast umożliwia z powyższych względów pływanie z mniejszym nakładem energji. Obie te krzywe przecinają się przy szybkości około 38 m/min. Przy tej szybkości ciało niezależnie od pozycji przy mniejszych szybkościach układa się już poziomo na wodzie.

W pierwszej serji doświadczeń, w której oznaczaliśmy różnice w wymianie oddechowej przy pływaniu stylem klasycznym i crawlem, przyjęliśmy jako szybkość stałą 40 m/min.; chcieliśmy bowiem uniknąć tych właśnie różnic indywidualnych w zależności od ułożenia w wodzie. Przyjęta szybkość nadawała się dla wszystkich pływaków mniej lub więcej sprawnych.

TAB. II.

Zużycie O_2 podczas pływania.

O_2 — *Verbrauch während des Schwimmens.*

Serja badań *Serie d. Unters.*	Zużycie — O_2 — *Verbrauch*					
	cm^3/min	cm^3/1 m/min	cm^3/1 m min/kg	cm^3/1 m min/m^2	% wart. spoczynkowych *% d. Ruhewerte* średnie-*Mittelw.*	% wart. spoczynkowych *% d. Ruhewerte* Min. – Max.
I. 1′ pracy 2′ „ (40 m/min)	2446	55.79	0.825	31.32	745, 870 } 808	557—1021, 742—1307
II. (52—65 m/min)	2496	44.59	0.674	25.33	767	643—852
III. (33—40 m/min)	1870	52.21	0.798	29.12	629	464—721

Jak wynika z przytoczonych danych w Tab. II, zużycie tlenu osiąga wysokie wartości. Średnia wartość w pływaniu dwuminutowem z szybkością 40 m/min. wynosi 2446 cm^3 tlenu, przyczem w pierwszej minucie średnia wynosi 2251 cm^3/min,, a w drugiej wzrasta do 2639 cm^3/min. Maksymalne zużycie tlenu wykazał osobnik I. J., osiągając w drugiej minucie pływania crawlem wartość 3155 cm^3 tlenu/min.

W przeliczeniu na przepłynięcie jednego metra w przeciągu jednej minuty zużycie O_2 waha się od 40.91 cm^3 do 67.27 cm^3. Wyróżniają się przytem dwie wartości średnie: dla szybkości maksymalnej danego osobnika (52 — 65 m/min.), wynosząca 44.59 cm^3 O_2 i średnia dla szybkości dużo mniejszej, bo od 33 do 40 m/min. — u osobników niewytrenowanych, dochodząca do 52.21 cm^3 O_2.

Badania *Liliestranda* stwierdziły, że w miarę wzrostu szybkości wielkość zużycia tlenu na 1 metr na minutę albo nie ulega

zmianie, albo wzrasta. Zgodnie z tem wartość na 1 m/min. powinna być w naszych badaniach w serji II równa lub wyższa, niż w III-ej. Tymczasem stwierdzamy, że u niewytrenowanych przy dużo mniejszej szybkości wartości zużycia tlenu są wyższe, aniżeli u osobników wprawnych.

Zjawisko to należy tłumaczyć wpływem wytrenowania. Jest rzeczą stwierdzoną *(Loevy, Knoll, Herxheimer* i *Kost, Missiuro),* że osobnicy niewytrenowani z niewyrobioną koordynacją ruchową, wykonywując dużą ilość pracy niecelowej, a przez to nieekonomicznej, wymagają większego — niż wprawni — zapotrzebowania tlenu. Pływacy niewytrenowani zużywają na każdy metr pływania o średnio 7.62 cm^3 tlenu/min. więcej, aniżeli wytrenowani i to przy znacznie mniejszej szybkości.

Wyżej podane różnice występują również przy porównawczem zestawieniu zużycia tlenu na kg ciężaru ciała lub m^2 powierzchni ciała. Wartości na kg wagi ciała wynoszą dla wytrenowanych 0.674 cm^3/min. tlenu, dla niewytrenowanych 0.798 cm^3/min., odpowiednie liczby na m^2 pow. ciała są 25.33 cm^3/min. i 29.12 cm^3/min. tlenu. Wartości te obliczone są na przepłynięcie jednego metra w ciągu jednej minuty.

Wzrost zapotrzebowania tlenu w czasie pracy uwidaczniają wyraźnie stosunki procentowe w porównaniu z wartościami spoczynkowemi. (Tab. II).

Z danych powyższych wynika, że pływanie powoduje sześcio-ośmiokrotny wzrost zużycia tlenu w porównaniu ze spoczynkiem. Ten rodzaj pracy jest więc wysiłkiem dużym. W niektórych przypadkach dochodzi nawet do 13-krotnego wzmożenia zużycia tlenu. W drugiej minucie pływania wartości te są wyższe, niż w pierwszej; jest to bowiem okres początkowy pracy, gdy ustrój przystosowuje się do wzmożonej pracy układu ruchowego.

Porównywując nasze wyniki z danemi, otrzymanemi przez innych autorów, stwierdzamy w grubszych zarysach zgodność. W badaniach *Zuntza, Loewy'ego, Müllera* i *Capari'ego,* dokonanych na bardzo dobrym pływaku *Kolmerze,* stwierdzono zużycie tlenu od 2049 do 2318 cm^3/min. tlenu na minutę. Dane te nie mogą jednak być wzięte do porównania, gdyż autorzy nie podali szybkości pływania. Praca *Liliestranda* i *Stenströma* wykazuje wartości zużycia O_2 dla stylu klasycznego z szybkością

40 m/min.=2386 cm³/min. Średnia wartość dla tej szybkości i tego stylu w naszych doświadczeniach wynosi 2412 cm³ tlenu na minutę, pokrywając się z danemi *Liljestranda.*

Wentylacja i rytm oddechowy podczas pływania.

Wzmożone zużycie tlenu umożliwione jest przez większą wentylację płuc. Krzywa wentylacji wznosi się od samego początku pracy, podobnie jak i krzywe zużycia tlenu i wydalania CO_2, stromo w górę. Wentylacja i rytm oddechowy w pływaniu ma jednak nieco odmienny charakter.

TAB. III.

Wentylacja, częstość i głębokość oddechów podczas pływania.
Ventilation, Atemtiefe und Atemfrequenz während des Schwimmens.

Serja badań *Serie d. Unters.*	Wentylacja — *Ventilation* l/min	Średnia *Mittelwert* % wart. spoczynk. *% d. Ruhewerte*	Min.—Max. % wart. spoczynk. *% d. Ruhewerte*	Częstość oddechów *Atemfrequenz* na min	Głębokość oddechów *Atemtiefe* cm³
Spoczynek *Ruhezust.*	7.9	100	—	15	492
I. 1′ pracy 2′ „ (40 m/min)	50.7 58.4	685 795	407— 905 459—1088	31 34	1777 1881
II. (52—65 m/min)	66.0	844	730—1045	41	1705
III. (33—40 m/min)	44.1	589	399—769	36	1204

Wentylacja płuc, jak wynika z Tab. III, jest więc bardzo duża. Pływanie z szybkością 40 m/min. powoduje przeciętnie siedmio-ośmiokrotny, z szybkością większą ośmio-dziewięciokrotny wzrost wentylacji płucnej w spoczynku. Maksymalny wzrost wentylacji osiągnął 11-krotną wielkość wentylacji spoczynkowej, wynosząc 77 litrów na minutę.

Wyrazem stosunku zużycia tlenu do wentylacji jest stopień wykorzystania tlenu (O_2 cm³ na 1 litr wentylacji), który daje pogląd na wydolność wentylacji.

TAB. IV.

Stopień wykorzystania tlenu.

Der Ausnutzungsgrad des Sauerstoffs.

(O_2 cm^3/1 l went.)

Serja badań *Serie d. Untersuch.*	Średnia wart. *Mittelwert.*	Min.	Max.
Ruhezustand Spoczynek	41.2	38.1	48.0
I. (40 m/min) 1′ pracy 2′ „	44.8 47.2	39.0 36.5	55.0 65.3
II. (52 — 65 m/min)	37.9	33.1	42.2
III. (33 — 40 m/min)	43.2	35.6	53.3

Przy średniej szybkości stopień wykorzystania tlenu wzrasta, szczególnie wyraźnie w drugiej min. pływania. Efektywność wentylacji zatem zwiększa się. Inaczej przedstawia się ten stosunek przy szybkościach większych (52 — 65 m/min.). Podniesienie intensywności pracy wpływa na obniżenie wykorzystania tlenu. Obserwuje się to u osobników wytrenowanych. U niewytrenowanych przy średnich szybkościach stopień wykorzystania tlenu jest wyższy od normy spoczynkowej.

Zasadniczą cechą mechanizmu wzmożenia wentylacji płuc podczas pływania jest zespół warunków, sprawiających, że oddech przy tej formie pracy nie jest funkcją autoregulacyjną w całej pełni, jak to zwykle bywa w wysiłkach fizycznych innego rodzaju. Konieczność utrzymywania głowy przez większość czasu we wodzie zmusza pływaka do pobierania powietrza tylko w tej krótkiej chwili, gdy głowę na chwilę wychyla z wody. Rytm oddechowy jest regulowany w dużej mierze świadomie. Pływający czerpie wtedy powietrze nietylko dla zaspokojenia niedoboru tlenowego, który się w czasie pracy wytwarza, ale również i w tym celu, by przez maksymalne wypełnienie płuc powietrzem uczynić klatkę piersiową lżejszą, a przez to ułatwić wysiłek utrzymywania ciężaru ciała we wodzie. W czasie tej krótkiej fazy wdechowej stara się on pobrać jak najwięcej powietrza. Stan wybitniejszej hyperwentylacji występuje dopiero przy dużych szybkościach i to z następującego powodu. Faza wdechowa

w pływaniu zależna jest od określonego ruchu ramion, różnego w różnych stylach. Na każdy ruch ramion wypada jeden wdech. W miernych i średnich szybkościach, gdy ruchy ramion wykonywane są z szybkością umiarkowaną, oddechy są stosunkowo rzadkie. Przy pływaniu szybkiem ruchy kończyn stają się szybkie, przyczyniając się do przyspieszenia ruchów oddechowych.

Wyniki, podane w Tab. III, wskazują, że u osobników wytrenowanych niezależnie od szybkości następuje stabilizacja głębokości oddechu. Głębokość oddechu jest w stosunku do oddechu w spoczynku przeszło trzykrotnie większa. W stosunku do pojemności życiowej płuc nie jest to głębokość bardzo duża, musimy jednak zważyć, że ucisk z zewnątrz przez ciśnienie wody (*Liliestrand*) oraz okresy unieruchomienia klatki piersiowej w związku z ruchami ramion ograniczają średnią amplitudę oddechową.

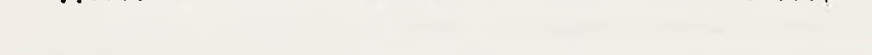
W porównaniu z pogłębieniem oddechów ich częstość w czasie pracy wzrasta w mniejszym stopniu. Przy szybkościach średnich ledwo przekracza dwukrotną wartość spoczynkową, przy szybkościach dużych jeszcze nie osiąga wartości trzechkrotnej. Zwiększenie wentylacji odbywa się więc głównie kosztem pogłębienia oddechów, a nie ich przyśpieszenia. Głębokość oddechowa, jak wynika z Tab. III, jest u osobników wytrenowanych niezależną od szybkości. Również nie stwierdzono różnicy pomiędzy głębokością oddechową w czasie pierwszej i drugiej minuty pływania.

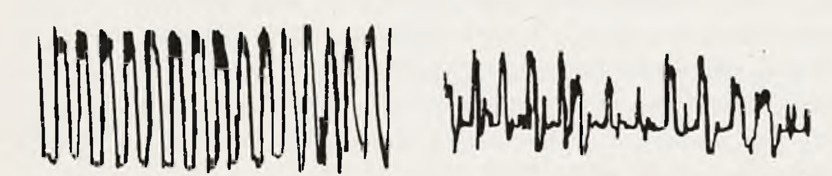
Tak np. osobnik I. J. przy szybkości 42 m/min. miał 23 oddechów na minutę, a przy szybkości 1.5 razy większej (65 m/min.) miał blisko dwukrotną częstość oddechów (42) przy prawie tej samej głębokości oddechowej.

Sposób oddychania stanowi bardzo cenną i charakterystyczną cechę, odróżniającą początkujących i niewytrenowanych od wytrenowanych. Pływaka niewytrenowanego najłatwiej poznać po jego oddechu. Oddech ten jest przedewszystkiem nieregularny, nieskoordynowany należycie z ruchami ramion. Osobnicy ci oddychają w każdej możliwej do tego chwili (nie zanurzając czasem głowy do wody). Oddech ten jest też nierówny pod względem głębokości i naogół dużo płytszy. Średnia wartość głębokości oddechów jest tu też dużo mniejsza, ledwo przekracza dwukrotną wartość spoczynkową. Duże zużycie tlenu — większe, niż u wytrenowanych — zmusza ich wobec płytkości oddechów

do przyspieszenia ich rytmu. (Rysunek 2). Wentylacja płuc nie odpowiada w tych warunkach wielkości wentylacji u wytrenowanych.

Zjawiska te nie pokrywają się więc ze zmianami przy innych rodzajach wysiłków. Przy tych ostatnich mniejsza wentylacja charakteryzuje w większości przypadków lepszy stopień wytrenowania. Tu odwrotnie. Różnica ta sięga i dalej. Stopień wykorzystania tlenu według wielu autorów (*Missiuro* i *Szulc*) wzrasta u wytrenowanych, a zmniejsza się u niewprawnych. W naszych badaniach stopień wykorzystania tlenu u niewytrenowanych wzrósł w stosunku do spoczynku z 41.2 do 43.2 cm^3 O_2 na litr went. (W innych rodzajach pracy u niewprawnych opada często poniżej wartości spoczynkowej). Niedostateczny wzrost wentylacji zostaje więc na tej drodze w pewnej mierze skompensowany.





Wytrenowani. Niewytrenowani.

Rys. 2. Krzywe oddechowe podczas pływania.

W charakterze krzywej oddechowej uwidaczniają się też najwyraźniej różnice indywidualne. Najlepszym pływakiem w naszych doświadczeniach okazał się osobnik I. J. wagi 68 kg. wzrostu 174 cm. Pojemność płuc w spoczynku 5.200 cm^3, częstość oddechów średnio 9 na min., głębokość oddechowa około 900 cm^3. W czasie pracy głębokość oddechów wzrasta aż do 2700 cm^3, a częstość w zależności od szybkości od 23 do 44 oddechów na min. Rozporządzając tak znaczną głębokością oddechu i tak szeroką skalą jego przyspieszenia od bardzo rzadkich w czasie spoczynku aż do bardzo częstych w czasie wyczerpującej pracy, badany z łatwością znosił pracę o bardzo intensywnym charakterze. Duża głębokość oddechowa, uzależniona od

znacznej pojemności płuc, przyczynia się też do utrzymania klatki piersiowej na powierzchni wody, zmniejszając przez to opór wody i ułatwiając pływanie.

Wyniki naszych doświadczeń potwierdzają zależność pomiędzy pojemnością płuc a wydatkiem energetycznym. Najniższe wartości zużycia tlenu z wszystkich badanych osobników wykazuje wspomniany I. J., mający pojemność płuc 5200 cm^3. Na przepłynięcie jednego metra w 1 min. zużywa on na kg wagi 0.583 cm^3 tlenu (średnia wartość 0.825 cm^3 tlenu).

Przeciwnie, najwyższe wartości zużycia tlenu zanotowano u osobnika K. W. o małej pojemności życiowej płuc (3.800 cm^3) przy częstości oddechów w spoczynku 19 na min., głębokości 435 cm^3. W czasie pracy głębokość oddechów wzrasta średnio tylko do 1215 cm^3, maksymalnie do 1371 cm^3, częstość oddechów dochodzi natomiast do 53 na min. Ustrój stara się wyrównać małą pojemność płuc znacznem przyspieszeniem oddechów. Małe wypełnienie płuc z podanych wyżej powodów utrudnia pływanie. U omawianego osobnika zanotowano zużycie tlenu na metr drogi min. na kg. wagi ciała 1.169 cm^3 O_2.

Równolegle ze wzmożeniem zużycia tlenu następuje wielokrotne w stosunku do wartości spoczynkowych zwiększenie wydalania dwutlenku węgla. Krzywa wydalania CO_2 ma podobny charakter do krzywej zużycia O_2. W czasie pracy i w pierwszej fazie wypoczynku wykazuje jednak większy wzrost od krzywej zużycia O_2. Wartości bezwzględne wydalania dwutlenku węgla, wahają się w czasie pływania, dochodząc maksymalnie do 4255 cm^3/min. Natężenie wydalania CO_2 podnosi się do 21-krotnej wartości spoczynkowej. Moment osiągnięcia maksymum wydalania CO_2 odpowiada w większości przypadków maksymum zużycia O_2. Wydalanie CO_2 osiąga niekiedy swe maksymum dopiero w pierwszej minucie wypoczynku, podczas gdy zużycie tlenu spada zawsze z ukończeniem pracy.

Iloraz oddechowy przy pływaniu.

Niezależnie od swych wartości spoczynkowych iloraz oddechowy wykazuje w czasie pływania wzrost. Prawie w 50% przypadków wartości RQ przekraczają wartość 1, osiągając maksymalnie w czasie pracy 1.353. Przy badanych szybkościach pływania RQ wahał się w następujących granicach:

Szybkość 40 m/min.	1' pływania	od 0.82	do 1.11
	2' „	„ 0.91	„ 1.35
„ 52—65 m/min.		„ 0.91	„ 1.17
„ 33—40 m/min.		„ 0.91	„ 1.13

WYPOCZYNEK.

Nie odbiegając od typowych zjawisk, towarzyszących ukończeniu każdego rodzaju pracy fizycznej, wypoczynek po pływaniu przebiega w dwóch fazach. Faza pierwsza rozpoczyna się natychmiast po zaprzestaniu pracy; trwa około 3 do 4 minut i charakteryzuje się gwałtownym spadkiem wszystkich (za wyjątkiem RQ) wyżej omówionych elementów wymiany gazowej. Faza druga, trwająca różne okresy czasu zależnie od trwania i intensywności pracy, charakteryzuje się znacznie powolniejszem opadaniem krzywych wentylacji, zużycia O_2, wydalania CO_2 oraz RQ, które w końcowym okresie wypoczynku osiągają wartości niższe od spoczynkowych.

Gwałtowny spadek zużycia tlenu rozpoczyna się już od pierwszej minuty wypoczynku (tab. V).

TAB. V.

Zużycie O_2 i wentylacja w okresie wypoczynku.

Sauerstoffverbrauch und Ventilation während der Erholung.

Serja badań *Serie d. Untersuch.*	Zużycie O_2 — *Verbrauch* % wart. spoczynk. *% d. Ruhewerte*				Wentylacja — *Ventilation* % wart. spoczynk. *% d. Ruhewerte*				Stopień wykorzystania *D. Ausnutzungsgrad* O_2 cm³/1 l. went.			
	Podczas pływania *Während d. Schwimmens*	Podczas wypoczynku *Während d. Erhol.*			Podczas pływania *Während d. Schwimmens*	Podczas wypoczynku *Während d. Erhol.*			Podczas pływania *Während d. Schwimmens*	Podczas wypoczynku *Während d. Erhol.*		
		1'	3'	14'—15'		1'	3'	14'—15'		1'	3'	14'—15'
I	870	629	258	119	795	681	403	125	47.2	39.5	29.1	39.3
II	767	610	254	116	844	702	404	123	37.9	37.3	26.2	38.1
III	629	608	196	108	583	573	323	116	43.2	40.0	26.2	37.8

Powrót do normy zużycia tlenu następuje po upływie dłuższego czasu, niż 15-minutowego. Średnie wartości zużycia tlenu

w 15-ej minucie wypoczynku wynoszą w I-ej serji 119% wartości wypoczynkowej, w II-ej — 116%, w II-ej — 108%. W poszczególnych jednak przypadkach i to w dość znacznym odsetku, wartości zużycia tlenu w 15 minucie są już równe wartościom spoczynkowym, a niekiedy nawet od nich niższe. Wyniki doświadczeń, dokonywanych przy niesprzyjających warunkach atmosferycznych (wiatr, niska temp.), wykazują w 15-ej minucie wypoczynku wartości zużycia O_2 znacznie wyższe od spoczynkowych (do 130%).

Różnic charakterystycznych między wprawnymi a niewprawnymi w okresie wypoczynku nie zanotowano. Zaobserwowano jedynie u niewytrenowanych bardzo małą różnicę między zużyciem O_2 w okresie pracy i w pierwszej minucie wypoczynku. (Z 629% do 608% wartości spoczynkowej, podczas gdy u wytrenowanych dane te wynoszą odpowiednio 818 i 620%). Niewytrenowani pobierają więc po zaprzestaniu pracy jeszcze prawie tyle tlenu, co podczas pracy wyrównując duży niedobór tlenu okresu pływania.

Podobnie do zużycia O_2 również i wentylacja zmniejsza się od chwili ukończenia pracy. (Tab. V).

Krzywa wentylacji płuc w odróżnieniu od krzywej zużycia tlenu nie przebiega tak stromo w dół. W trzeciej minucie wypoczynku wentylacja spada o 50% w porównaniu z wartościami z okresu pływania, natomiast zużycie tlenu zmniejsza się w tym samym czasie aż o 72%. Ta dysharmonja między zużyciem tlenu a wentylacją odbija się na stopniu wykorzystania tlenu. (Tab. V).

Wykorzystanie tlenu, które w czasie pracy ulega naogół zwiększeniu z wyjątkiem pracy bardzo intensywnej, spada obecnie w okresie wypoczynku wskutek wzmożonej wentylacji. Najniższe wartości osiąga w 3-ej minucie wypoczynku, by następnie powoli dojść do wartości spoczynkowych.

Reakcja niewytrenowanych tak pod względem wentylacji, jak i stopnia wykorzystania tlenu, przedstawia tu pewne różnice w porównaniu z wytrenowanymi. Wentylacja (podobnie, jak i zużycie tlenu) spada u niewprawnych w początkowych chwilach wypoczynku bardzo wolno. Wartości w pierwszej minucie wypoczynku są prawie równe wartościom z okresu pracy. To samo dotyczy i wykorzystania tlenu. Lepszy stopień wytrenowania wydaje się więc wpływać na szybszy spadek zużycia tlenu, hyper-

wentylacji i stopnia wykorzystania tlenu w okresie wypoczynkowym.

Charakterystyczne jest zachowanie się rytmu i amplitudy oddechów w pierwszych minutach wypoczynku. Wytrenowani i niewytrenowani reagują pod tym względem identycznie. Natychmiast po zaprzestaniu pracy następuje pogłębienie oddechów dużo większe, niż w czasie pracy, umożliwione przez brak czynnika uciskającego klatkę piersiową i rozluźnienie mięśni ją ustalających. Równocześnie następuje i dość nagłe zwolnienie oddechów tak, że przychodzi do głębokiego wolnego oddechu. *Jordi* porównuje stan ten do dyspnoe centrogennej. Stan ten trwa tylko przez kilka pierwszych minut wypoczynku, poczem ustępuje oddechom płytszym. W cyfrach przedstawia się to następująco. (Tab. VI).

TAB. VI.

Częstość i głębokość oddechów.
Die Atemfrequenz und Tiefe.

Serja badań *Serie d. unters.*	Częstość oddechów — *Atemfrequenz*				Głębokość oddechów — *Atemtiefe*			
	Pływanie *Arbeit*	Wypoczynek—*Erholung*			Pływanie *Arbeit*	Wypoczynek—*Erholung*		
		1′	2′—3′	14′—15′		1′	2′—3′	14′—15′
I	34	20	18	14	1881	2191	1429	622
II	41	23	16	13	1705	2470	2329	819
III	36	23	19	17	1204	1843	1426	555

U niektórych osobników głębokość oddechów w 1-ej i 2-ej minucie wypoczynku znacznie przekracza podane wyżej wartości średnie. U I. J. głębokość oddechu w pierwszej minucie wypoczynku dochodzi do 3.300 cm^3. W ostatnich — obserwowanych przez nas — minutach wypoczynku głębokość oddechów jest jeszcze nieco większa, niż w spoczynku, przy mniejszej, niż w spoczynku częstości oddechów. U niewytrenowanych obserwujemy również jeszcze wtedy zwiększoną w stosunku do spoczynku częstość oddechu.

Krzywa wydalania CO_2 opada wolniej niż krzywa zużycia tlenu, a szybciej, niż krzywa wentylacji. Wartości jej w stosunku do spoczynku wynoszą w pierwszej minucie spoczynku 921% (tlenu 620%), w 3-ej jeszcze 384% (tlenu 236%). W następnych

minutach wypoczynku wydalanie CO_2 wolno zmniejsza się i osiąga często w ostatnich minutach obserwowanego przez nas wypoczynku wartości niższe od spoczynkowych.

Duże wydalanie CO_2 przy obniżającem się zużyciu O_2 ujawnia się po ukończeniu pływania we wzroście ilorazu oddechowego. W omawianych badaniach zaobserwowano wzrost ilorazu oddechowego w czasie wypoczynku powyżej jedności we wszystkich przypadkach. Iloraz ten wzrasta w pierwszych minutach wypoczynku, osiągając wartości maksymalne między trzecią a piątą minutą wypoczynku. Maksimum podniesienia wartości RQ zanotowano w piątej minucie wypoczynku u osobnika K. E. (1.870).

Należy sądzić, że lepsza forma treningowa idzie w parze z zmniejszym wzrostem ilorazu oddechowego. Najwyższą wartość u osobnika wytrenowanego zanotowaliśmy 1.60, u niewytrenowanego wspomniana wartość wyniosła 1.87.

SPOCZYNEK NA LĄDZIE I SPOCZYNEK W WODZIE.

W czasie dotychczasowych naszych rozważań nad zużyciem tlenu w czasie pływania i wypoczynku sprowadzaliśmy wszystkie wartości do wartości spoczynkowej, mierzonej w pozycji leżącej na lądzie. Jest jednak pewnem, że zwiększenie wymiany oddechowej w pływaniu dokonywa się nietylko z powodu pracy, lecz również wskutek samego przebywania w zupełnie innem środowisku, jakiem jest woda, dla naszego ustroju. Bodźce termiczne (zwykle niższa temperatura wody, niż otaczającego powietrza), mechaniczne (masy wody, ruchu wody i t. p.) i inne wpływają niewątpliwie na wzrost przemiany spoczynkowej.

Powstaje pytanie, czy różnica pomiędzy przemianą spoczynkową na lądzie i w wodzie, jest znaczna i czy wobec tego uwzględniać ją musimy w naszych obliczeniach. Dla ogólnego zorjentowania się w działaniu wspomnianych czynników dokonano kilku doświadczeń.

Badania przeprowadzono w ten sposób, że po adaptacji na lądzie pobierano próbkę powietrza w okresie spoczynkowym przez maskę do oddychania w sposób zwykły, a następnie umieszczano badanego na dnie jeziora w płytkiej wodzie w pozycji leżącej. Ograniczono się do adaptacji kilkuminutowej (po dłuż-

szej następowało uczucie zimna, a nawet dreszcze), poczem pobierano próbkę powietrza wydechowego.

Z powodu małej ilości doświadczeń nie podajemy średnich, lecz wyniki (w stosunku procentowym do spoczynku na lądzie) jednego z charakterystycznych doświadczeń.

Wartości spoczynkowe we wodzie w procentach wartości spoczynkowych na lądzie.

Die Ruhewerte im Wasser in Prozenten der Ruhewerte auf dem Lande.

	%		%
Wentylacja *Ventilation*	159	Wydalanie CO_2 CO_2—*Ausscheidung*	150
Częstość oddechów *Atemfrequenz*	75	Zużycie tlenu O_2—*Vebrauch*	111
Głębokość oddechów *Atemtiefe*	212		

W wodzie następuje więc przedewszystkiem zwolnienie i pogłębienie znaczne oddechów, zapewne na drodze odruchowej przy zetknięciu się z zimniejszą temperaturą wody, zwiększenie wentylacji i wydalania CO_2. Zużycie tlenu, ten najważniejszy czynnik porównawczy, wzrasta stosunkowo mniej (o około 11%). Cyfra ta jest jednak zapewne za wysoką, zważywszy zaledwie kilkuminutową adaptację w wodzie. Różnica więc między zużyciem tlenu w czasie spoczynku na lądzie a zużyciem tlenu w wodzie nie jest dużą, a w stosunku do bardzo dużych wartości zużycia tlenu w czasie pracy nie odgrywa przypuszczalnie znaczniejszej roli.

WYDATEK ENERGETYCZNY PRZY PŁYWANIU.

Dla zorjentowania się w wydatku energetycznym pływania podano tab. VII, w której zestawiono nadwyżki zużycia tlenu, przypadające na okres pracy i wypoczynku w trzech serjach naszych doświadczeń.

Koszt fizjologiczny pływania jednominutowego wynosi więc około 4,5 do 6,5 litra tlenu, dwuminutowego blisko 10 litrów tlenu. Składa się na to nadwyżka zużycia tlenu w czasie pracy i dług tlenowy. Sam dług tlenowy osiąga przytem duże wartości i prze-

TAB. VII.

Wydatek energetyczny przy pływaniu.

Der Energieaufwand beim Schwimmen.

Serja badań *Serie d. Untersuch*	Nadwyżka zużycia O_2 w czasie pływania. *Überschuss d. O_2 — Verbr. während d. Schwimmens* cm^3 O_2	Dług tlenowy O_2—*Schuld* cm^3 O_2	Koszt pracy *D. Energieaufwand* cm^3 O_2	Koszt pracy *D. Energieaufwand* % wart. spocz. *% d. Ruhewerte*	Dług tlenowy w wart.% całk. kosztu pracy O_2—*Schuld in % d. tot. Energieaufwandes*	Koszt pracy na 1 m drogi *D. Energieaufwand pro 1 m. Wegs* cm^3 O_2
I.	4889	4773	9662	3199 %	48.55 %	119.78
II.	2496	4071	6567	2167 %	64.64 %	126.08
III.	1870	3023	4893	1625 %	61.39 %	131.08

kracza w jednominutowem pływaniu znacznie nadwyżkę tlenu w czasie samego pływania. Wyraźnie ilustruje tę zależność stosunek długu tlenowego do całkowitego kosztu pracy, który w pracy jednominutowej wyraża się cyfrą 64.6 i 61.4%, w pracy dwuminutowej cyfrą 48.6%. Dane niniejsze zgodne są ze spostrzeżeniami innych autorów, według których stosunek ten jest odwrotnie proporcjonalny do długości pracy. W pływaniu według naszych spostrzeżeń wartości te są bardzo duże. Podobne wartości spotykamy przy szybkich biegach lekkoatletycznych na 800 i 1500 m. *(Klotschkow)*.

W stosunku do wartości spoczynkowych pływanie powoduje od szesnasto — dwudziestokrotny wzrost zużycia tlenu w porównaniu ze zużyciem tlenu w spoczynku. Dane te dają obraz o intensywności wysiłku w czasie pływania.

Dane przyrostów zużycia tlenu w przeliczeniu na 1 metr przebytej drogi uwypuklają wpływ szybkości pływania i stopnia wytrenowania na wielkość wydatku energetycznego. Przy szybkości 40 metrów/min. wartości te wynoszą 120 cm^3 tlenu na metr, przy szybkości większej — zgodnie z badaniami *Liliestranda* — są wyższe i wynoszą przy szybkości 55 m/min 126 cm^3 na metr drogi. U niewytrenowanych koszt pracy jest większy przy dużo mniejszej szybkości (33 — 40 m/min.) i wynosi 131 cm^3 tlenu na metr drogi. Wpływ wytrenowania na wydatek energetyczny potwierdzają również wartości maksy- i minimalne. Najwyższą wartość posiada niewytrenowany osobnik L. K.=167.9 cm^3 O_2 na metr drogi, najniższą najlepszy z badanych pływaków I. J.= 84.71 cm^3 O_2 na metr drogi przy szybkości dużo większej, niż poprzedni.

CRAWL A STYL KLASYCZNY.

W niniejszych doświadczeniach ograniczano się jedynie do badań dwóch najbardziej używanych stylów piersiowych, a mianowicie klasycznego i crawlu. Różna technika ruchów, odmienna „siła popędowa" obu stylów stworzyć musi też różnice pomiędzy wydatkiem energetycznym w pływaniu stylem klasycznym i crawlem. W stylu klasycznym ruchy są rytmiczne, ale rzadkie, zato energiczne; maksymum pracy przypada tu na nogi. Już *R. du Bois Reymond* w r. 1905 obliczał pracę nóg przy pływaniu tym stylem na 23 kgm na każdy ruch przy kilkunastu kgm pracy rąk. W crawlu natomiast przeważa ciągłość ruchu, niema martwych przerw, jak w klasycznym, ruchy kończyn są tu częstsze, praca rozłożona przedewszystkiem na ramiona, a potem na nogi i tułów.

Wdech w obu tych stylach pływania zależny jest od położenia ramion, dlatego też ilość oddechów w crawlu musi być wyższa, niż w stylu klasycznym przy tej samej szybkości. Uwidoczniają to dane serji I naszych doświadczeń, przeprowadzonych dla obu tych stylów z tą samą szybkością i w tych samych warunkach, przedstawione w tab. VIII.

TAB. VIII.

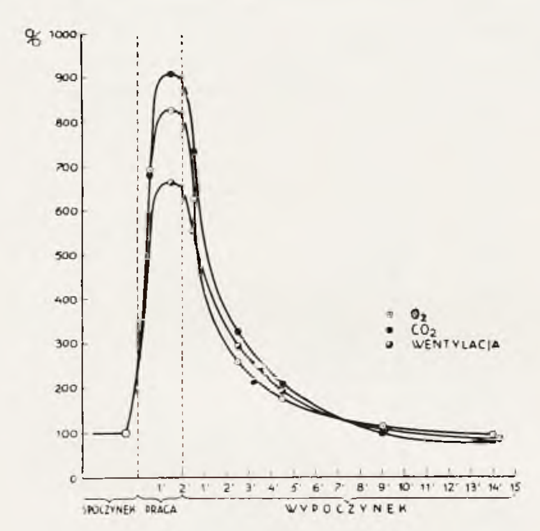
Liczba oddechów i objętość oddechowa.
Atemtiefe und Atemfrequenz.

Serja badań *Serie d. Unters.*	Styl	Liczba oddechów na min *Atemfrequenz pro Min*				Głębobość oddechów *Atemtiefe* cm^3			
		Spocz. *Ruhe*	Praca *Arbeit*	Wypocz. *Erholung* 1′	Wypocz. *Erholung* 3′	Spocz. *Ruhe*	Praca *Arbeit*	Wypocz. *Erholung* 1′	Wypocz. *Erholung* 3′
I (40 m/min)	klas.	15	29	23	17	492	1684	2059	1380
	crawl	15	34	24	22		1850	2293	1529
II (52 — 65m/min)	klas.	15	38	21	16	492	1790	2444	2019
	crawl	15	43	25	17		1648	2521	1914

Ilość oddechów jest więc w crawlu o 17% wyższa przy szybkościach średnich, a o 13% przy szybkościach dużych. Zwiększona częstość oddechów w crawlu utrzymuje się także w pierwszych minutach wypoczynku.

Zupełnie inny sposób oddychania przy crawlu każe zastanowić się, czy szybsze oddechy nie są tu konieczne ze względu na bardzo krótki moment wdechu w chwili wynurzania głowy z wody, a przez to niemożność pobrania dostatecznie wielkiej ilości powietrza.

Z tab. VIII, w której zestawiono głębokość oddechów przy dwóch badanych stylach wynika, że przy średnich szybkościach głębokość oddechów przy crawlu nie jest mniejsza, przeciwnie i w czasie pracy i wypoczynku przekracza nieco wartości przy pływaniu stylem klasycznym. Moment wdechu nie jest tu więc zbyt krótki dla dostatecznego wypełnienia płuc powietrzem.

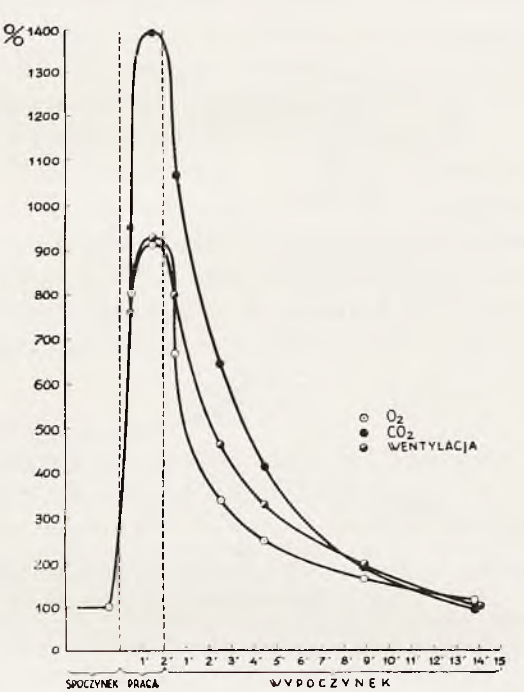


Rys. 3. Zużycie O_2, wydalanie CO_2 i wentylacja podczas pływania stylem klasycznym.

Inaczej jednak przedstawia się głębokość oddechowa przy szybkościach dużych, przy których częstość oddechów jest dużo większa. W crawlu głębokość oddechów jest wtedy niższa od głębokości przy stylu klasycznym i znacznie niższa od głębokości oddechów dla crawla przy szybkościach średnich. W stylu klasycznym natomiast głębokość oddechowa przy szybkościach dużych zwiększała się nieco w porównaniu z odpowiednią wartością przy szybkości średniej.

Spadek głębokości oddechów przy dużych szybkościach w crawlu daje się jednak wytłumaczyć. Na jedną minutę przypada w crawlu przy dużych szybkościach średnia 43 oddechy,

czyli jeden oddech trwa 1.4 sekundy. Czas ten obejmuje wdech i wydech. Ponieważ wydech (szczególnie w pływaniu) trwa dłużej od wdechu, na wdech przypada więc nie dużo więcej, aniżeli ½ sekundy. Jest to bardzo krótki kres czasu. Pobieranie powietrza jest też w crawlu utrudnione, odbywa się ono bowiem jedynie kącikiem ust przy mocno ku bokowi zwróconej głowie. Krótki moment wdechu, przy utrudnionem pobieraniu powietrza a może też większem ustaleniu klatki piersiowej przez intensywniej pracujące ramiona przyczyniają się do zmniejszenia głębokości oddechów w crawlu przy dużych szybkościach.



Rys. 4. Zużycie O_2, wydalanie CO_2 i wentylacja podczas pływania crawlem z szybk. 40 m/min.

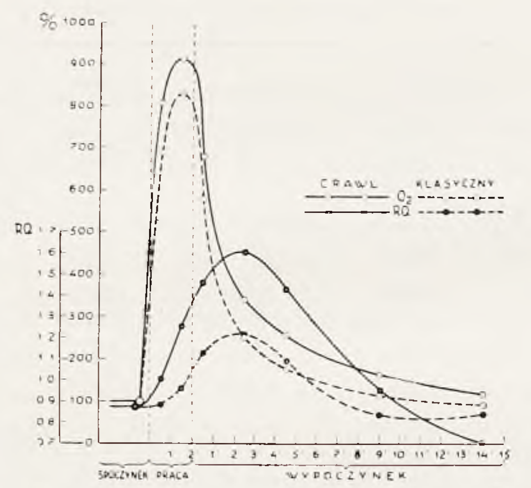
Podobnie do głębokości oddechowej, wentylacja w crawlu wzrasta znaczniej w stosunku do wentylacji stylu klasycznego. Zjawisko to obserwujemy także tylko przy szybkościach średnich. Przy szybkościach dużych wentylacja w crawlu w czasie pracy jest mniejsza od wentylacji stylu klasycznego mimo większej częstości oddechów. W okresie wypoczynku wentylacja w crawlu jest wyższą od wentylacji w stylu klasycznym.

TAB. IX.

Natężenie wymiany gazowej podczas pływania różnemi stylami w % wart. spoczynk.

O_2 Verbrauch und CO_2 Ausscheidung während des Schwimmens in % der Ruhewerte.

Serja badań *Serie d. Unters.*	Styl	Wydalanie — CO_2 *Ausscheidung*				Zużycie — O_2 — *Verbrauch*			
		Praca *Arbeit*	Wypoczynek *Erholung*			Praca *Arbeit*	Wypoczynek *Erholung*		
			1′	3′	9′—10′		1′	3′	9′—10′
I 40 m/min	klas.	801	734	327	108	735	581	248	116
	crawl.	1169	1065	647	201	858	678	340	167
II 52—65 m/min	klas.	867	819	441	134	724	587	261	114
	crawl.	1029	1073	473	157	810	631	267	134



Rys. 5. Zużycie tlenu i zmiany RO_2 podczas pływania crawlem i stylem klasycznym.

Wydalanie CO_2 potwierdza nasze wnioski w stosunku do wentylacji. Jako wielkości zależne od siebie reagują podobnie. Wydalanie CO_2 w crawlu jest w porównaniu do stylu klasycznego stale większe. Różnica znaczna już w czasie pracy powiększa się jeszcze bardziej w okresie wypoczynku. Różnica, wynosząca w czasie pracy 40% wzrasta w trzeciej minucie wypoczynku do 97%, więc prawie dwukrotnie. Przy szybkościach dużych nadto wydalanie CO_2 w pierwszej minucie wypoczynku w crawlu

nietylko nie zmniejsza się, lecz nawet wzrasta. (Rys. krzywe zużycia O_2 i wydalania CO_2).

Zużycie tlenu przybiera w crawlu tak w czasie pracy jak i w czasie wypoczynku wartości wyższe niż w stylu klasycznym. Krzywa zużycia tlenu góruje przez cały czas od początku pracy nad krzywą zużycia tlenu w stylu klasycznym. (Rys. 5). Największa różnica zachodzi w pierwszych minutach wypoczynku. W 3-iej minucie wypoczynku wartości procentowe w stosunku do wartości spoczynkowych wynoszą w crawlu 340 wobec 248 w stylu klasycznym.

Wydatek energetyczny odzwierciedla różnice w intensywności obu stylów (tab. X).

TAB. X.

Koszt pracy w cm^3 tlenu.

Der Arbeitsaufwand in ccm O_2

Serja badań *Serie d. Untersuch.*	Styl	Nadwyżka zużycia O_2 w czasie pracy *Der Übrschuss des O_2 Verbrauches während der Arbeitsleistung in* cm^3 O_2	Dług tlenowy *Sauerstoff-Schuld* cm^3 O_2	Całkowity koszt pracy *Der totale Energieaufwand* cm^3 O_2	Koszt pływania na 1 m. drogi *Der Energieaufwand pro 1 m. der Schwimmenstrecke* cm^3 O_2
I.	klas.	4823	3540	8363	104.51
	crawl	4956	6006	10962	135.07
II.	klas	2408	4213	6621	117 21
	crawl	2584	4928	7512	134.96

Wartości zużycia tlenu przy pływaniu crawlem stale są wyższe niż przy stylu klasycznym. Najwybitniejsza różnica występuje jednak nie w czasie pracy, lecz w okresie wypoczynku. Dług tlenowy (zwłaszcza po pływaniu dwuminutowem) dosięga w crawlu wartości prawie dwukrotnej w stosunku do stylu klasycznego. W przeliczeniu kosztu pracy na przepłynięcie jednego metra na minutę i wyrażeniu różnicy w stosunku procentowym odzwierciedla się wyraźnie różnica intensywności obu tych stylów. Z danych tych stwierdza się, że wydatek energetyczny przy pływaniu crawlem jest o około 30% wyższy od wydatku przy pływaniu stylem klasycznym przy szybkościach średnich (40 m/min.). Przy szybkościach większych (ok. 55 m/min.) różni-

ca ta wynosi około 15%. Można więc stwierdzić, że przy szybkościach do 55 m/min. crawl jest wysiłkiem intensywniejszym, aniżeli styl klasyczny.

Bock, Dill, von Caulaert i *Hurthal* stwierdzili, że zależnie od intensywności pracy wzrastają i obniżają się wartości ilorazu oddechowego. RQ może więc być poniekąd miernikiem intensywności pracy.

W naszych badaniach wartości RQ przedstawiają się następująco:

TAB. XI.

Iloraz oddechowy.

Der Respirationsquotient.

Serja badań *Serie d. Unters.*	Styl	Spoczynek *Ruhe*	Praca *Arbeit*	Wypoczynek — *Erholung* 1'	3'	5'	14'—15'
I.	klas.	0.869	0.917	1.120	1.202	1.088	0.846
	crawl	0.869	1.128	1.453	1.598	1.425	0.684
II.	klas.	0.869	1.028	1.154	1.421	1.302	0.834
	crawl	0.869	1.084	1.453	1.657	1.285	0.831

Wartości RQ dla crawla górują znacznie nad wartościami RQ dla stylu klasycznego w czasie pracy i pierwszego okresu wypoczynku. Już w czasie pracy RQ dla crawla przekracza jedność, a osiąga maksymum dużo wyższe od maksymum stylu klasycznego w 3-ej minucie wypoczynku. Odtąd następuje spadek, który w crawlu przebiega stromiej niż w stylu klasycznym, tak że w ostatnich minutach wypoczynku wartości dla crawla są niższe od wartości stylu klasycznego. Wartości RQ w 14—15 minucie wypoczynku są nawet niższe od wartości spoczynkowych, co obserwuje się często po wysiłkach intensywnych. Tłumaczy się to nadmiernem wypłókaniem CO_2 z krwi w pierwszych minutach wypoczynku przez wzmożoną wentylację, co w konsekwencji powoduje w dalszych minutach wypoczynku okres zatrzymywania CO_2 jako wyraz obrony ustroju przed grożącą mu alkalozą.

WNIOSKI.

Celem ustalenia przebiegu wymiany oddechowej w czasie pływania w okresie pracy i wypoczynku w zależności od rodzaju stylu i wytrenowania przy różnych szybkościach wykonano szereg doświadczeń na pływakach i stwierdzono, że:

1. W czasie pływania następuje wybitny wzrost wentylacji płuc, zwłaszcza przy szybkościach dużych; łączy się to z gorszem wykorzystaniem tlenu. Oddech w pływaniu pogłębia się do maksymum (przeszło 3-chkrotnie), a częstość jego idzie w parze z szybkością pływania.

2. Pobieranie tlenu wzrasta z początkiem pływania i osiąga swoje maksymum (6—13-krotnie w porównaniu z wartościami spoczynkowemi) w chwili zakończenia pływania, poczem szybko spada.

3. Krzywa wydalania CO_2 przebiega podobnie do krzywej zużycia tlenu, osiąga jednak wyższe wartości i opada wolniej. W końcowym okresie wypoczynku spada poniżej wartości spoczynkowych.

4. Iloraz oddechowy wzrasta od początku pracy i osiąga maksymum między trzecią a piątą minutą wypoczynku. Wzrost ponad jedność występuje w czasie pracy w połowie przypadków, w czasie wypoczynku należy do reguły. W końcowym okresie wypoczynku spada poniżej wartości spoczynkowych.

5. Gorsza forma wytrenowania charakteryzuje się mniejszą wentylacją płuc w czasie pływania, dużo płytszym, szybszym, nieregularnym oddechem, większem zużyciem tlenu tak w czasie pracy jak i wypoczynku, wyższemi wartościami wydalania CO_2 i ilorazu oddechowego.

6. Porównując style pływackie stwierdzono większą intensywność pracy w crawlu, aniżeli w stylu klasycznym.

7. Spoczynek w wodzie łączy się z podniesieniem natężenia przemiany oddechowej powyżej normy w zwykłych warunkach na lądzie.

Poczuwam się do miłego obowiązku złożyć serdeczne podziękowanie J.W.Panu Docentowi Pułk. Dr. Wł. Missiuro za łaskawe poruczenie mi pracy oraz za kierowanie ją i wartościowe wskazówki metodyczne, Pani Dr. S. Niemierko i Pani Dr. A. Perlberg za cenne rady i pomoc przy przeprowadzaniu doświadczeń i układaniu materjału.

PIŚMIENNICTWO.

Dirken M. N. J.: Gaswechsel bei maksimaler Muskelarbeit. (holender. ref. Rona. *26*. 1924).

R. du Bois Reymond: Arch. f. Anat. Physiol. *XXIX*. 1905.

Effimow: Die Einwirkung der Hyperventilation bei sehr schwerer Arbeit auf die Erholung. Arphys. 7, *9*, 1934.

H. Herxheimer: Über den Sauerstoffverbrauch bei schwerer Muskelarbeit unter hohen Temperaturen. Arbphys. 7. *181*, 1934.

Herbst Robert: Stoffwechsel und Sport. Klin. Wschr. 1841—44, 1929.

— Der Energieverbrauch bei sportlichen Leistungen. 6. Sportärztetagung 1929.

Jordi A.: Untersuchungen zum Studium des Trainiertseins, Ruheumsatz Minutenatemvolum. Arbphys. 7, *9*, 1934.

Klotschkow L. A. i *Wassiljewa E. S.:* Gaswechseluntersuchungen beim Lauf über verschiedene Strecken. Arbphys. 7. *62*, 1934.

Kohlrausch W.: Der Atemtypus bei verschiedenen sportlichen Übungen. Münch. med. Wochenschr. 1921, 1515.

Liliestrand G. i *Stenström N.:* Studien ber die Physiologie des Schwimmens. Skand. Arch. f. Physiol. XXXIX. 1—63, 1920.

Missiuro i *Szulc:* Studjum przemiany oddechowej podczas intensywnej pracy. Przegl. Sport.-lek. nr. 1, 2, 1930.

Rosztoczy E.: Die Nachwirkung des Schwimmens und Ruderns auf den Stoffwechsel während des Trainings und nach dem Training. Arbphys. 3, *564—578*, 1930.

Zuntz, Loewy, Müller, Caspari: Höhenklima und Bergwanderungen 1906, S. 263 — 268.

(Zakład Fizjologji Centralnego Instytutu Wychowania Fizycznego
im. Pierwszego Marszałka Polski Józefa Piłsudskiego
i Pracownia Rady Naukowej Wychowania Fizycznego.
Kierownik Doc. Dr. W. Missiuro).

Eligjusz Preisler.

BADANIA FIZJOLOGICZNE SPORTÓW WODNYCH. II. DOSTOSOWANIE RYTMU ODDECHOWEGO PODCZAS WIOSŁOWANIA NA ŁODZIACH KLEPKOWYCH (CZWÓRKACH PÓŁWYŚCIGOWYCH).

Physiologische Untersuchungen über Wassersporte.
II. Verhältnis der Atmung zur Ruderbewegung auf „Vierer".

Wpłynęło 20.XII.1935.

Das Verhältnis der Atmung zur Ruderbewegung — die Aufgabe dieser Versuche — wurde schon von einer ganzen Reihe von Autoren *(H. Rahn, E. Kleinknecht, Altrock, W. Knoll* u. *Schreiber)* geprüft und besprochen. Die Ergebnisse der Versuche sind aber nicht gleichlautend. Es wurden in der Literatur zwei Hauptmöglichkeiten erörtert, von welchen: die Einatmung in der Arbeitsphase (Durchzug) und Ausatmung in der Ruhephase (Vorrollen), als Typus A, und die umgekehrte Einstellung der Atmung, als Typus B — bekannt ist. In reiner Form trat nur der erste der beiden Typen auf, mit der Inspiration zu Beginn der Arbeitsphase (Typus A_0). Die häufigsten Abweichungen der beiden Typen beruhen darauf, dass bei dem ersten die Inspiration schon kurz vor dem Anriss, im lezten Teil des Vorrollens beginnt, und in der Mitte des Durchzugs aufhört (Typus A_1) — bei dem zweiten beginnt die Einatmung im ersten Teil des Vorrollens und hört mit dem Anriss auf (Typus B_1).

Ausser den Abweichungen dieser *einfachen* Atmung d. h. Einatmung in der Arbeitsphase, Ausatmung in der Ruhephase (Typus A) oder die umgekehrte Einstellung (Typus B) — wurde bei den beiden Typen eine *doppelte* Atmung, also eine Einatmung und Ausatmung in der Arbeitsphase und dasselbe in der Ruhephase (Typus A_2) oder umgekehrte Einstellung (Typus B_2) gefunden.

Von den erwähnten Arten der Atemführung atmen nach *Rahn, Kleinknecht, Altrock* die Anfänger nach Typus B, die Trainingsleute nach Typus A. Bei *Knoll* und *Schreiber* finden wir vorwiegend den Typus B bei Anfängern und Trainingsleuten. Eine doppelte Atmung fand *Knoll* überhaupt nicht, *Rahn, Kleinknecht* und *Altrock* nur bei Anfängern.

Nachfolgende Versuche wurden mit 39 Ruderern und 11 Ruderinnen des Warschauer Ruderklubs ausgeführt.

Die Versuche wurden in normalen Trainingsverhältnissen auf einem „Vierer" auf der Weichsel ausgeführt.

Es wurden zwei Bewegungen auf dem Poligraph von Boulitte registriert: der Ruderschlag und die Atembewegung. Der Ruderschlag wurde vermittels des Mareyschen Tambours, der mit der Aufnahmekapsel des Poligraphs in Beziehung stand, aufgezeichnet. Dieser Tambour wurde mit der Dolle auf spezielle Art verbunden. Der aufsteigende Teil der Kurve entspricht der Arbeitsphase, der abfallende der Ruhephase. Die Aufzeichnung der Atembewegung wurde vermittels einer Maske mit Ein- und Ausatmungsventil erhalten, die die Ruderer beim Rudern aufhatten. Das Ausatmungsventil war vermittels eines Gummischlauch mit der Mareyschen Regiestrierkapsel des Poligraphs verbunden. Der Verlauf der Kurve nach oben und unten entspricht der Ausatmung, der horizontale Teil der Einatmung und der Atmungspause.

Aus den Versuchen ging hervor, dass auf 50 Ruderer Atemführung und Ruderschlag im gleichen Rhythmus verliefen bei langsamem Rudern 98%, bei schnellem 79%. Das Verhältnis zwischen den beiden Rhythmen lässt sich im Grundsatz mit den schematischen A und B Typen bezeichnen. Gewisse unterschiede ergaben sich in vielen Fällen betreffs der Atmungsfrequenz pro Ruderschlag. Es zeigte sich nämlich, dass bei langsamem Schlag 69%, bei schnellem 50,1% doppelte Atmung aufwiesen.

Bei doppelter Atmung ergab sich noch eine Abweichung. Während *Kleinknecht, Rahn, und Altrock* eine volle Respiration in der Arbeitsphase und eine Ein- und Ausatmung — in der Ruhephase beobachteten, haben wir ausserdem beim Typus B folgendes gefunden: in der Arbeitsphase eine Ausatmung, in der Ruhephase eine Ein- Aus- und Einatmung, — oder umgekehrt bei Typus A, aber seltener.

Diese Art doppelter Atmung trat vorwiegend bei langsamem Schlag auf und bezog sich vor allen Dingen auf Typus B (80%). Bei Typus A herrschte die Abweichung A_2 vor, wo die Ausatmung noch öfters auf die Ruhephase überging, sodass auch hier mehr als eine Atmung stattfand. Bei schnellem Schlag tritt der Typus B mit der Ausatmung in der Arbeitsphase weiterhin vorwiegend in Erscheinung. Bei Typus A findet man diese doppelte Atmung nicht.

Ausserdem fanden wir noch solch eine Anpassung der mechanischen Brustkorbbewegung, die von anderen Autoren nicht hervorgehoben wurde; sie zeigt einen veränderlichen Atemtypus, welcher auf der Kurve abwechselnd als Typus A und B auftrat. (*Altrock* fand ebenfalls in zwei Fällen solche Anpassung, von welchen er einen zum Typus A, den anderen zum Typus B zählte). Die Übergangsphasen der Aufzeichnung zeigten bei einem oder zwei Ruderschlägen eine Tendenz zur Nichtanpassung.

In unseren Versuchen unterschieden wir also drei Hauptmöglichkeiten zwischen Atemführung und Ruderbewegung.

Typus A:

einfache Atmung — (Einatmung in der Arbeitsphase, Ausatmung in der Ruhephase — entspricht dem Typus A_0 bei *H. Rahn*);

doppelte Atmung I (A_2 — in der Arbeitsphase eine Ein- und Ausatmung, in der Ruhephase dasselbe — entspricht dem Typus A_2 von *H. Rahn*);

doppelte Atmung II (A_3 — in der Arbeitsphase eine Einatmung, in der Ruhephase eine Aus- Ein- und Ausatmung — selten bei langsamem Schlag, gar nicht bei schnellem Schlag).

Typus B:

einfache Atmung (Einatmung in der Ruhephase, Ausatmung in der Arbeitsphase — entspricht dem Typus B_0 von *H. Rahn*);

doppelte Atmung I (B_2 — in der Arbeitsphase eine Ex- und Inspiration, in der Ruhephase dasselbe — entspricht dem Typus B von *H. Rahn);*

doppelte Atmung II (B_3 — in der Arbeitsphase eine Ausatmung in der Ruhephase eine Ein = Aus- und Einatmung. Vorwiegend bei langsamem wie bei schnellem Schlag.

Veränderlicher Typus: (A u. B abwechselnd, entweder einfache oder doppelte Atmung).

Technische Schwierigkeiten erlaubten es nicht, alle Abarten dieser drei Grundtypen festzustellen.

Von den erwähnten Typen trat in der allgemeinen Zusammenfassung am häufigsten der Typus B_2 auf, dessen Prozentsatz bestand:

bei langsamem Schlag 52% im Verhält. zu 25% Typ. A und 21% veränd. Typus;

bei schnellem Rudern 37% im Verhält. zu 17,5% Typ. A und 24% veränd. Typus.

Bei einer Gliederung der Ruderer nach dem Stand der Ausübung in Neulinge, Anfänger und Trainingsleute ergab es sich, dass bei langsamem Schlag herrschend ist:

bei Neulingen der veränd. Typus u. z. 45% : 30% Typus B: 25% Typus A;

bei Anfängern der Typus B 52% : 24% A Typus : 24% veränd. Typus;

bei Trainingsleuten der Typus B 52% : 26% A Typus : 17% veränd. Typus.

Wie man daraus ersieht, ist der Unterschied zwischen den zwei letzten Grupen nicht gross.

Bei schnellem Schlag herrscht:

bei Neulingen der B Typus in 31% : 25% veränderl. Typus 12% A — Typus;

bei Anfängern der B Typus in 40% : 22% veränderl. Typus: 14% A Typus;

bei Trainingsleuten der B Typus in 34,5% : 26% veränderl. Typus: 22% A Typus.

Bei den Neulingen fanden wir bei 31% (schnelles Tempo) eine Atemführung, die nicht dem Rhythmus des Ruderschlages angepasst war. Dasselbe trat bei Anfängern in 24%, bei Trainingsleuten 17,5% auf.

Tabelle V und Abb. 5 zeigen uns das Verhältnis der trainierten zu den nichttrainierten Rudern für jeden Typus als ganzes.

Die Ergebnisse unsere Versuche nähern sich denen von *Knoll* und *Schreiber*. Ein kleinerer Prozentwert einzelner Typen (das Verhältnis des Typus A : B bei *Knoll* = 58% : 31%, bei uns 37% : 17%) ist auf die Hervorhebung des veränderlichen Typus zurückzuführen. Auf Grund unserer Aufzeichnungen, die durchschnittlich 45 — 60 Ruderschläge bei langsamem Rudern, und 45 bei schnellem Schlag enthielten, konnten wir diese Resultate nicht zum Typus A oder B zählen, wie das *Rahn* in Einzelfällen gemacht hat, indem er 20—25 Schläge auf dem Kimograph untersuchte.

Der Typus B, welcher sehr häufig bei Nichttrainierten auftritt, stabilisiert sich auch bei den Fortgeschrittenen, jedoch scheint der grössere, als bei Anfängern Procentsatz des Typus A bei den Trainingsleuten bei schnellem Tempo von einer Entwicklung der Atemtechnik im Laufe des Rudertrainings zu zeugen, was schon *Rahn* bemerkte. Diese Evolution geht aber wahrscheinlich nicht von Typus B aus, sondern vom veränderlichen, der bei Neulingen bei langsamem Schlag 45% beträgt.

Das Fehlen einer einheitlichen Anpassungsform des Atemrhythmus erklärt die Mechanik des Ruderns, deren Koordination weitgehende Möglichkeiten technischer Indiwidualisierung hervorruft. Darin liegt die Schwierigkeit der Analyse des Ruderns im Sinne seines Einflusses auf die Brustkorbbewegung, und das ist auch die wesentliche Ursache des Unterschiedes zwischen *Rahn, Kleinknecht, Altrock* einerseits — und *Knoll* u. *Schreiber* andrerseits. Während die ersten auf Grund physiologischer Analyse bessere Möglichkeiten zum Einatmen in der Arbeitsphase fanden, sehen *Knoll* und *Schreiber* dasselbe in der Ruhephase.

Den wichtigsten Einfluss auf die Atmungsmechanik beim Rudern hat warscheinlich der Kraftanteil der Arme und der Rumpfmuskulatur in der Arbeit, und die dadurch enstehenden mechanischen Bedingungen des Ruderns. Von diesem Gesichtspunkt aus ist die Ruhephase für das Atmen am geeignetsten, weil die dort entstehende Muskelspannung am kleinsten ist. Weniger günstig für das Atmen ist die Arbeitsphase. Ein entsprechender Ruderstil ist hier wie da massgebend, in welchem ein grösserer Kraftanteil der Arme in der Arbeit für den Atem-

typus B, die grössere Beanspruchung der Beinmuskulatur dagegen für den Typus A wirkt.

Auch die Haltung des Ruderers — also die Lage der Wirbelsäule (gestreckt oder gebeugt nach vorwärts) und die damit verbundenen mechanischen Bedingungen der Ruderarbeit spielen hier eine wichtige Rolle.

Veränderlicher Atemtypus kann durch abwechselnde mechanische Bedingungen im Laufe der Arbeit (als Nachfolge der schwachen Ausübung und daher Ermüdung, und unregelmässiger Arbeit) erklärt sein. Nach *Kohlrausch* könnte man den Übergang von einem Typ zum andern durch die Ermüdung eines gewissen Teiles der Atemhilfsmuskulatur erklären, die vielleicht bei *einem* Atemtypus beteiligt ist. Es ist möglich, dass der andere Typus mit nicht ermüdeten Muskeln arbeitet und so die Atemführung und weitere Arbeit dem Organismus erleichtert.

Die Bedingungen des Valsalva Versuchs konnten wir wegen technischer Schwierigkeiten nicht ganz untersuchen. Sie entstehen warscheinlich am häufigsten bei Anfängern bei dem Übergang von der Ruhephase zur Arbeitsphase, und zum Schluss dieser Phase, während der dynamischen Arbeit der Arme.

Zusammenfassend kann gesagt werden:

Das Rudern entwickelt eine automatische Einstellung des Atemrhythmus. Wir haben das in 100% bei Neulingen, Anfängern und Trainingsleuten (ohne Atemschulung), vollständig bei langsamem Tempo feststellen können.

Diese Einstellung des Atemrhythmus ist vom Rudertempo abhängig und erliegt einer Störung bei schnellem Schlag. Diese Störung tritt seltener auf bei Ruderern, die schon längere Zeit im Training sind.

Von den drei bekannten Anpassungsformen der Atmung trat am häufigsten — unabhängig vom Rudertempo und Ruderschulung — der Typus B auf (Ausatmung in der Arbeitsphase, Einatmung in der Ruhephase).

Der veränderliche Typus ist vorwiegend bei weniger ausgebildeten Ruderern.

Der Typus A (Einatmung in der Arbeitsphase, Ausatmung in der Ruhephase) ist den Trainingsleuten geläufig.

Bei Anfängern besteht die Möglichkeit einer Entstehung von zum klassischen ValsalvaVersuch annähernd ähnlichen Bedingungen — und das häufiger beim schnellen Schlag.

WSTĘP.

W zespole czynników, oddziaływujących na reakcję mechanizmu oddechowego podczas pracy fizycznej ustroju, ważną rolę odgrywają warunki mechaniczne wysiłku — związane z regulacyjnym wpływem napięcia mięśni oddechowych na funkcję klatki piersiowej. Czynnik ten jest szczególnie zaznaczony podczas intensywnych wysiłków, kiedy wzmożona dynamika oddechowa aktywuje liczne mięśnie klatki piersiowej. Współdziałają wtedy przy oddechu obok mięśni międzyżebrowych zewn., chrząstkowych i przepony, mięśnie pochyłe (podnoszące I i II parę żeber) i zębate tylne górne (podn. II — V pary żeber), a przy bardzo głębokich wdechach mięśnie: równoległoboczny, czworoboczny, dźwigacz łopatki, mięśnie piersiowe (większe i mniejsze), zębate przednie i mostkowo-sutkowo- obojczykowy. Wydech zaś wspomagają w tych warunkach mięśnie międzyżebrowe wewn., brzuszne oraz (ściskające klatkę piersiową) mięśnie: trójkątny mostka, zębaty tylny dolny, czworoboczny lędźwi i najszerszy grzbietu (Zbyszewski).

Przy przeważającym więc udziale kończyn górnych w pracy fizycznej ustroju, część tych samych grup mięśniowych uruchamia jednocześnie dwa mechanizmy — oddechowy i ruchowy. Już to samo nasuwa fizjologiczną konieczność podporządkowania się jednego układu drugiemu. W normalnych warunkach pracy — do chwili wystąpienia zmęczenia — podporządkowuje się oddech, kompensując funkcję wentylacyjną dwoma czynnikami: rytmem i głębokością oddechu. W miarę występowania zmęczenia zdolność kompensacyjna maleje, zwiększa się rytm oddechowy oraz zmniejsza głębokość oddechu *(Durig, Schick* i *Grünberg, Ulrik)*.

Przystosowanie się oddechu powstaje odruchowo zależnie od warunków mechanicznych pracy, dla której stwarza ustrój optymalne warunki. Wzrasta przez to precyzja ruchowa, jak i wydajność ogólna pracy. W zależności od koordynacyj motorycznych, akcja klatki piersiowej zostaje albo wstrzymana (przy ustaleniu klatki piersiowej), albo wspomagana w kierunku wdechu lub wydechu.

Obserwacja ćwiczeń sportowych przemawia za tem, że forma dostosowania oddechu nie automatyzuje się odrazu (przy-

najmniej w ćwiczeniach bardziej złożonych), lecz ulega pewnej ewolucji równolegle z opanowaniem technicznem ćwiczenia, że jest następstwem treningu.

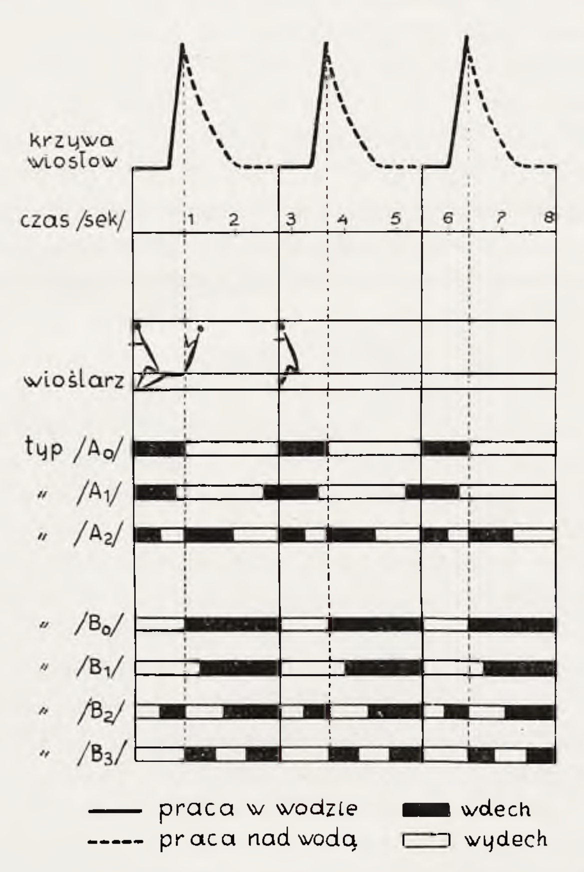
O automatycznem uzgodnieniu mechaniki oddechu z ruchem można mówić przy niektórych rodzajach ćwiczeń krótkotrwałych, kiedy adaptacja dotyczy unieruchomienia klatki piersiowej, np. przy różnego rodzaju rzutach lekkoatletycznych, skokach, niektórych ćwiczeniach gimnastycznych (skłony napięte, zwisy, skoki), strzelaniu (strzelec wstrzymuje oddech, aby mu ruchy klatki piersiowej nie przesuwały linji celu). I tu jednak zaznacza się różnica, zależna od stopnia wyćwiczenia *(Knoll)*.

Ograniczenie częstości oddechu podczas wysiłku, jak to zachodzi np. u sprintera, przebywającego przestrzeń 100 m przy jednym albo dwu oddechach, jest już kwestją zaprawy fizycznej.

Warunki wspomnianej adaptacji (krótkotrwałość intensywnej pracy, praca na „kredyt", możliwość natychmiastowego wyrównania długu tlenowego podczas wypoczynku tuż po krótkim wysiłku), polegającej na eliminacji względnie ograniczeniu ruchów oddechowych podczas wysiłku — zmieniają się całkowicie podczas pracy długotrwałej, która sprzyja wzmożeniu czynności układu oddechowego. Tu więc dostosowuje ustrój swój rytm oddechowy do warunków motorycznych pracy, włączając niejako ruchy oddechowe w odpowiednie korzystne momenty zespołu ruchowego pracy. Że stopień tego sharmonizowania oddechu z pracą świadczy w pewnej mierze o jej doskonałości technicznej, o tem pouczają nas ćwiczenia cielesne; przytoczę najtypowszy przykład tego rodzaju — pływanie, gdzie technika zależy przedewszystkiem od uzgodnienia oddechu z mechaniką pływania (ilość oddechów odpowiada całkowicie danej ilości rzutów kończyn górnych). Zjawisko to zachodzi w szeregu innych ćwiczeń (turystyce górskiej, biegach długodystansowych, gdzie oddech przypada dokładnie co pewną ilość kroków, w narciarstwie i innych) i ma doniosłe znaczenie dla techniki danego ćwiczenia. Podobne uzgodnienie zauważyli podczas pracy *Efimoff* i *Arschawski* u robotników, piłujących drzewo, do wysiłków tych zaprawionych. Robotnicy ci oddychali w takt ruchów piły (50 — 60 razy na minutę) i byli mimo ciężkiej pracy (na którą wskazywała znaczna wentylacja i zużycie tlenu) już po 2 — 8 minutach wypoczęci. Odpowiednio do rytmu pracy dostosowana

wentylacja wywiera zatem równie korzystny wpływ na wypoczynek.

Fakt więc istnienia pewnej zależności między rytmem oddechu i rytmem pracy jest niewątpliwy *(Durig, Efimoff* i *Arschawski, Knoll)* i posiada ważne znaczenie nietylko dla ćwiczeń cielesnych, ale dla fizjologji pracy wogóle.

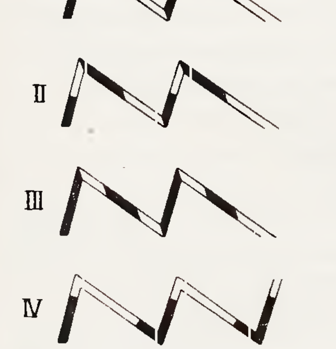


Rys. 1. Krzywa wiosłowania i formy dostosowania oddechu. (Objaśnienia w tekście).

Celem niniejszej pracy było zbadanie sposobu dostosowania się rytmu oddechu do rytmu wiosłowania.

Zagadnienie to było już przedmiotem badań szeregu autorów *(H. Rahn, E. Kleinknecht, H. Altrock, W. Knoll* i *C. Schreiber)*, wyniki jednak, dotyczące formy uzgodnienia rytmu oddechowego, nie są jednolite.

Zasadnicze rozbieżności w wynikach badań wspomnianych autorów polegają na tem, że jedni wioślarze łączą wykonanie wdechu względnie wydechu z inną fazą pracy, niż drudzy. Jak wiadomo, praca wioślarza (jedno uderzenie) składa się z dwu zasadniczych elementów ruchowych: pracy w wodzie, skupiającej w sobie maksimum wysiłku i posuwającej łódź naprzód — oraz pracy nad wodą, przygotowującej poszczególne grupy mięśniowe do skoordynowanego wysiłku pracy w wodzie. W literaturze notowano dwie zasadnicze formy dostosowania mechanizmu oddechowego do rytmu wiosłowania, określone schematycznie jako typy A i B. Pierwszy (typ A) oznacza wdech podczas pracy w wodzie i wydech podczas pracy nad wodą, drugi (typ B) — odwrotne nastawienie oddechu. (Rys. 1, 2).



I. Pojedyńczy. (A_0, B_0).

II. Podwójny (całk. oddech na każdej fazie). (A_2, B_2).

III. Podwójny (pół oddechu na fazie pracy w wodzie, półtora — nad wodą). (A_3, B_3).

IV. Pojedyńczy, odmiana typu A. (Wdech zaczyna się już pod koniec fazy pracy nad wodą i kończy się w połowie pracy w wodzie). (A_1).

Ramię wstępujące — faza pracy *w* wodzie. Ramię zstępujące — faza pracy *nad* wodą. W schematach I—III: odcinki czarne — wdech dla typu A, wydech dla typu B, (białe — wydech dla typu A; wdech dla typu B). Schemat IV — tylko dla typu A (czarne — wdech, białe — wydech).

Rys. 2. Odmiany typu A i B. (Schematy z wyjątkiem III wg. *Rahna* i *Kleinknechta*. Arb. Physiol. B. 3. 1930).

Co do częstości oddechów na uderzenie wiosła, wyróżniono oddech pojedyńczy, czyli jeden na jedno uderzenie (wdech na fazie pracy w wodzie, wydech podczas pracy nad wodą, czyli typ A — lub odwrotne nastawienie, czyli typ B) oraz oddech podwójny, czyli dwa oddechy na uderzenie (na jedną fazę wdech i wydech, na drugą to samo, czyli typ A_2, — lub odwrotnie, czyli typ B_2. (Rys. 1, 2).

Niektórzy autorzy *(Rahn, Kleinknecht, Altrock)* spotkali w oddechu pojedyńczym o typie A bardzo częstą odmianę A_1, polegającą na tem, że wdech rozpoczynał się nie z początkiem fa-

zy pracy w wodzie, lecz **j u ż** pod koniec pracy nad wodą (w końcowym momencie wyłożenia do przodu, tuż przed założeniem wiosła), i kończył się w połowie pracy w wodzie (Rys. 1, 2).

Podobna odmiana B_1 (równie częsta) polegała na opóźnieniu wdechu w fazie pracy nad wodą (wiosła w powietrzu), rozpoczynającego się po odrzucie wiosła. (Rys. 1, 2).

Z pośród wspomnianych wyżej typów u jednej grupy badaczy *(Rahn, Kleinknecht, Altrock)* występuje najczęściej u początkujących typ B, u wytrenowanych typ A, u drugiej grupy badaczy *(Knoll* i *Schreiber)* przeważa zdecydowanie typ B u jednych i drugich (58% :31,5% typu A). Na podstawie swoich wyników, pierwsi uważają za naturalne i fizjologiczne dostosowanie rytmu oddechowego, polegające na wdechu podczas pracy w wodzie. *Knoll* twierdzi przeciwnie, odnosząc jednak rodzaj adaptacji do właściwości danego stylu. Oddechów podwójnych nie spotykał zupełnie poza przypadkami niedostosowania. *Rahn, Kleinknecht, Altrock* spotykali go jedynie u początkujących.

METODYKA BADAŃ.

Objektem badań byli wioślarze i wioślarki warszawskich klubów wioślarskich w liczbie 39 mężczyzn i 11 kobiet. Wiek badanych, wśród których przeważali pracownicy umysłowi (studenci, urzędn.) wahał się w granicach od 18 do 40 lat.

Badania przeprowadzono na rzece w łodziach-czwórkach półwyścigowych na długie wiosła [1]).

Notowano rytm wioseł i oddech wioślarzy na poligrafie Boulitte'a. Krzywą ruchów wiosła otrzymano przez połączenie dulki z bębenkiem Marey'a w ten sposób, że ruchy dulki, odpowiadające pracy w wodzie, wywierały ucisk na bębenek. Nadciśnienie powietrza, wywołane zwiększającym się uciskiem (dulki na bębenek), przenosiło się na drodze pneumatycznej za pośrednictwem rurki gumowej na pisak marey'owski poligrafu, dając wstępujące, strome ramię krzywej. Ramię zstępujące krzywej odpowiada pracy nad wodą (przeciwny ruch dulki, zwalniający ucisk). Dla uzyskania krzywej oddechu wiosłowali badani w maskach o podwójnych wentylach — wdechowym i wydecho-

---

[1]) Zamierzonych badań na dwójce o krótkich wiosłach nie dało się przeprowadzić spowodu braku wioślarzy.

wym. Wentyl wydechowy zaopatrzony był w boczne ujście, które łączono za pośrednictwem rurki gumowej z drugim pisakiem poligrafu. Na wykresach otrzymano wydech w postaci krzywej o ramieniu wstępującem i zstępującem. Pauzie oddechowej i wdechowi odpowiada linja pozioma. Notowano jednocześnie oddech dwu wioślarzy.

Dla przyzwyczajenia badanych do oddechu przez maskę, stosowano zwykle 10 — 15 minut adaptacji. W niektórych przypadkach wykonywano badania kontrolne.

Do badań przystąpiono po wielu próbach, przeprowadzanych na obozie wodnym C. I. W. F. w Brasławiu.

Przebieg badań był następujący: rytm wioseł i oddech dwóch pierwszych wioślarzy (pierwszego i drugiego na czwórce) zapisywano od chwili rozpoczęcia wiosłowania wgórę rzeki przez 4 — 5 min. tempa powolnego (12 — 15 uderzeń na minutę) — przez następne 2 — 3 min. badano dwóch dalszych (trzeciego i czwartego) wioślarzy, poczem powtórnie (dla kontroli) dwóch pierwszych. Całość badania na tempie powolnem (turystycznem) trwała około 8 minut. Po krótkim wypoczynku najczęściej 1 — 2-minutowem, powtarzano te same badania wdół rzeki w ciągu 3 — 4 min. tempa szybkiego (22 — 28 uderzeń na min.). Nie uwzględniano przytem stosowanego na tempie turystycznem badania kontrolnego dwóch pierwszych wioślarzy.

Aparatura (poligraf z odpowiednią metalową ochroną przed falą i wiatrem) umieszczona była przy siedzeniu sternika, które zajmował badający, sterując niekiedy łodzią. Bardzo często jednak brano do sterowania chłopca, pracującego w przystani klubu, który siedział zwykle poza badającym, za siedzeniem sternika. Obciążenie łodzi odpowiadało naogół normalnym warunkom wiosłowania.

Badania więc poza wpływem maski odbywały się całkowicie w naturalnych warunkach treningowych. Badania również na łodziach przeprowadzał *Knoll,* inni *(Rahn, Kleinknecht, Altrock)* badali w basenie, notując rytm wioseł i oddechu na kimografie.

WYNIKI BADAŃ.

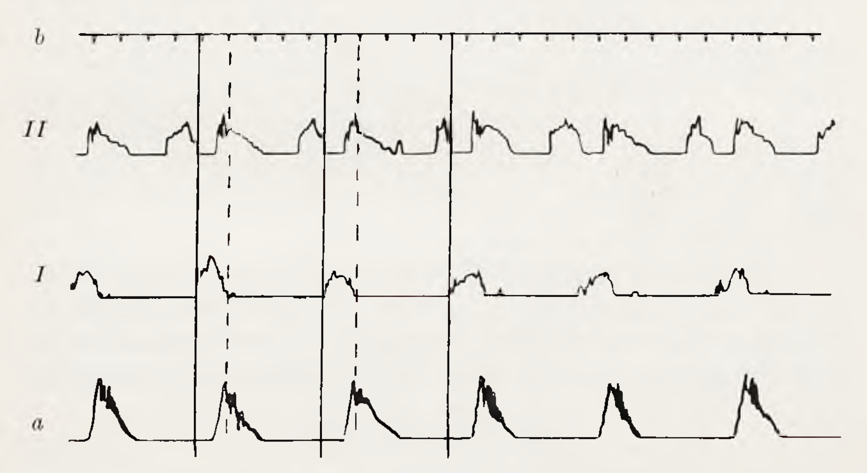
Wśród 50 zbadanych osobników wyraźne dostosowanie oddechu do rytmu wiosłowania dało się zauważyć na tempie powolnem u 98%, na tempie szybkiem u 79% badanych. Na tempie

powolnem więc tylko 2% nie wykazuje takiego uzgodnienia — na tempie szybkiem natomiast aż 21%. (Tabl. 1).

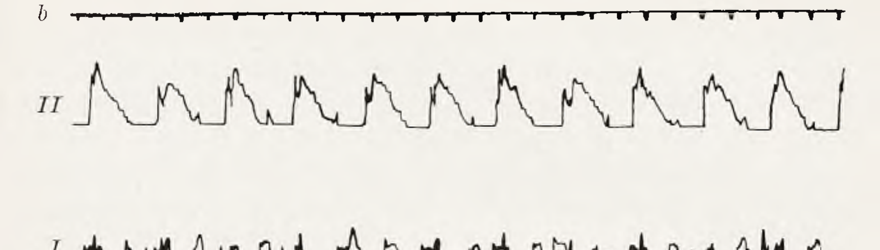
TAB. I. Dostosowanie rytmu oddechowego do rytmu wiosłowania w liczbach bezwzględnych i w procentach badanych osobników.

Tempo wiosłowania	Ogólna ilość zbadanych	Dostosowanie		Niedostosowanie	
		Liczby bezwzgl.	Proc.	Liczby bezwzgl.	Proc.
Powolne (turyst.) 12—15 uderz./min.	50	49	98 ± 0	1	2 ± 0
Szybkie 22—28 uderz./min.	48	37	79 ± 2	11	21 ± 1

Co do formy uzgodnienia obu rytmów — pracy i oddechu — występuje tu, podobnie jak u innych autorów, skojarzenie wdechu lub wydechu z jedną z dwu zasadniczych faz pracy wioślarza (a więc albo z pracą w wodzie, albo z pracą nad wodą), dające się w zasadzie wyrazić przy pomocy wspomnianych już we wstępie schematycznych typów A i B. Odmiennie przedstawia się w dość licznych przypadkach sprawa częstości oddechów na uderzenie wiosła — w znacznej bowiem większości, bo aż w 69% na tempie powolnem i 50% na tempie szybkiem, spotkaliśmy oddechy podwójne (a więc dwa na jedno uderzenie). Tu również (w oddechach podwójnych) dała się zauważyć jeszcze inna odmiana, polegająca na innem rozłożeniu ilościowem wdechów



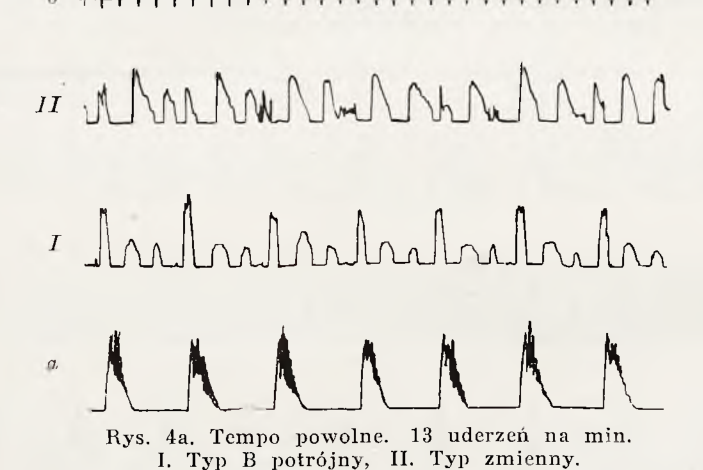
Rys. 3a. Tempo powolne. 12 uderzeń na min.
Wioślarz I. Typ B pojedyńczy, Wioślarz II. Typ A podwójny (A_2) — wydech przenosi się z fazy pracy w wodzie na fazę pracy nad wodą. a) Krzywa wiosłowania, ramię wstępujące — faza pracy w wodzie; ramię zstępujące — faza pracy nad wodą, b) czas w sek.





Rys. 3b. Tempo szybkie. 24 uderzeń na min. (Ci sami wioślarze). I. Typ B podwójny (B_2), II. Typ A pojedyńczy (A_1). a. krzywa wiosłowania, b. czas w sek. (I. Wioślarz trenujący 3 lata, II. — 4 lata).

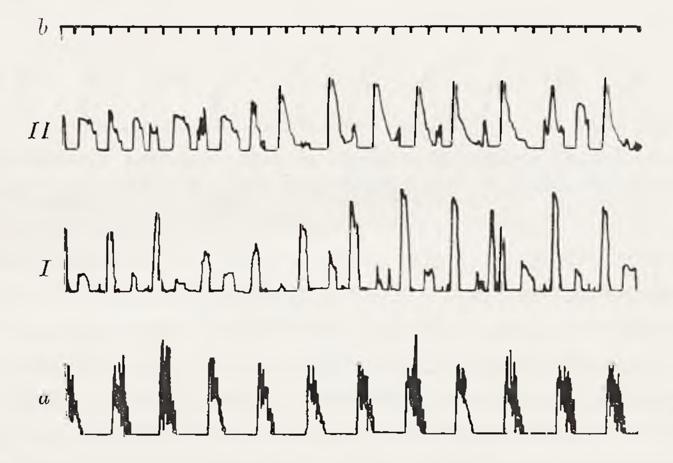
i wydechów. Podczas gdy *Kleinknecht*, a za nim *Rahn* i *Altrock* zauważyli przy podwójnym oddechu (A_2 i B_2) jeden całkowity oddech, a więc wdech i wydech na jednej fazie, a drugi całkowity oddech na drugiej fazie — to u nas, obok tego rodzaju synchronizacji, spotykaliśmy w dużej części przypadków postaci B przebieg następujący: na fazę pracy w wodzie przypadało zreguły pół oddechu, a więc wydech na fazę pracy nad



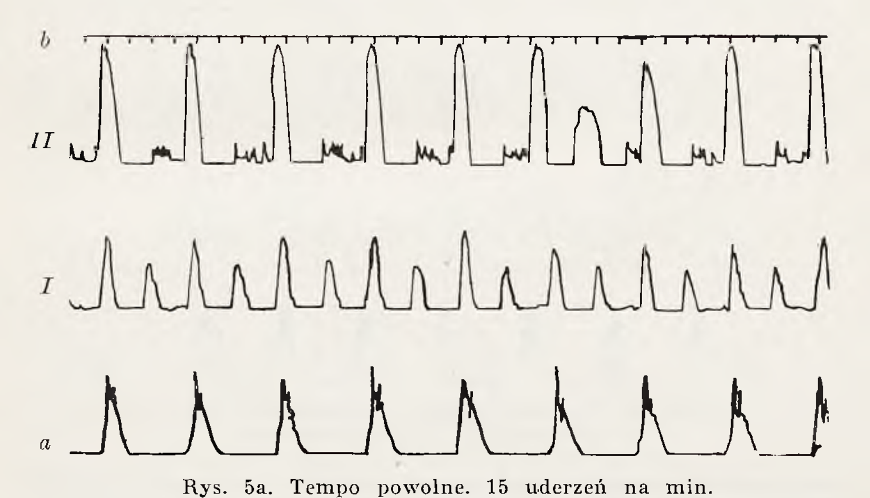
Rys. 4a. Tempo powolne. 13 uderzeń na min. I. Typ B potrójny, II. Typ zmienny.

wodą półtora oddechu, czyli wdech, wydech, wdech, — lub odwrotnie w typie A (rzadziej). (Rys. 1, 2, 3a(II), 4a, b, 5a(I), c(I)). Ten rodzaj podwójnego oddechu występował najczęściej na tempie powolnem i dotyczył przedewszystkiem typu B (80% B po-

dwójnego), w typie A przeważał podobny do *Rahn'a* typ A_2, przyczem wydech przenosił się często na fazę pracy nad wodą, (wiosła w powietrzu) tak, że tu skupiało się też prawie półtora oddechu. Na tempie szybkiego wiosłowania ten podwójny oddech typu B (półtora oddechu na fazie pracy nad wodą) przeważa dalej — nie spotyka go się jednak w typie A, gdzie przeważa typ A podwójny (A_2).

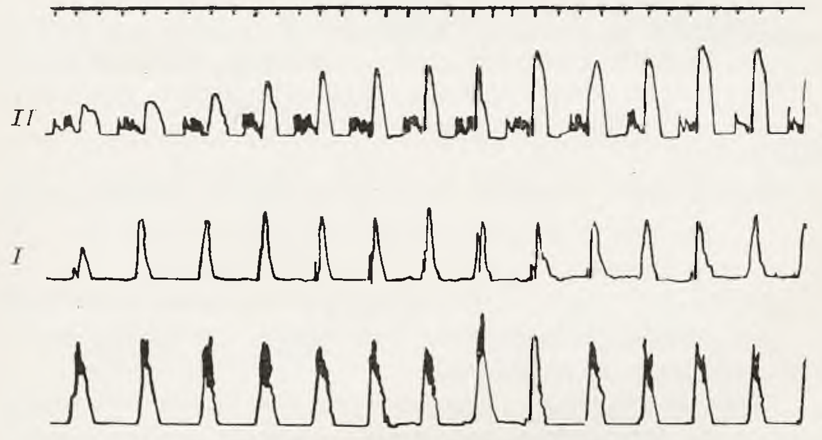


Rys. 4b. Tempo szybkie. 22 uderzeń na min. (Ci sami wioślarze).
I. Typ B podwójny (półtora oddechu na fazie pracy nad wodą). II. Typ A podwójny.

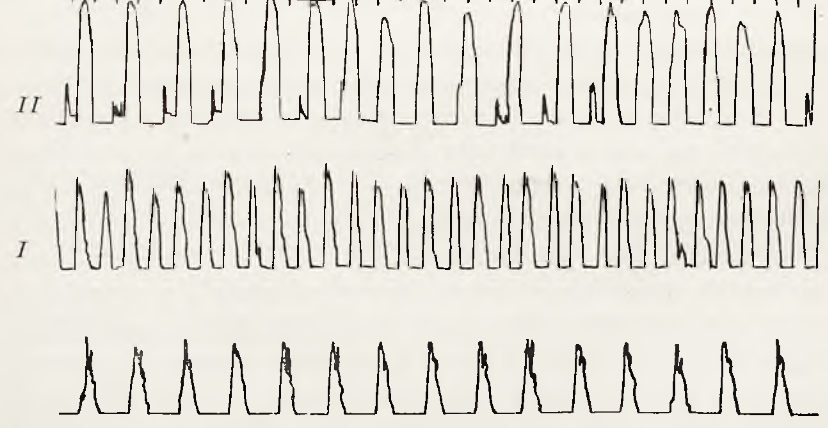


Rys. 5a. Tempo powolne. 15 uderzeń na min.
I. Typ B podwójny (1½ oddechu na fazie pracy nad wodą),
II. Typ B pojedyńczy. (Zygzaki przed wzniesieniem wydechowem wskazują na wstrzymywanie oddechu — wysokie krzywe na wzmożone parcie płucne).

Jako nienotowaną u innych autorów, spotykaliśmy reakcję zmiennego dostosowania ruchów oddechowych klatki piersiowej podczas pracy, które występowało na pewnych odcinkach krzywej jużto w postaci A jużto w postaci B, a więc typ zmienny (*Altrock* spotkał również dwa takie przypadki, z których jeden zaliczył do typu A, drugi do typu B). Odcinki przejściowe od jednego typu do drugiego zdradzały często na przebiegu jednego do dwóch uderzeń wiosła charakter niedostosowania. (Rys. 4).



Rys. 5b. Tempo szybkie 27 uderzeń na min. Początek wiosłowania. Ci sami wioślarze. U wioślarza II stopniowy wzrost krzywej wydechu.



Rys. 5c. Tempo szybkie 27 uderzeń na min. (Ci sami wioślarze). Późniejsze wiosłowanie: u pierwszego wioślarza (I) oddech pojedynczy (Rys. 5b) przechodzi w podwójny, u drugiego (II) stopniowy wzrost krzywej oddychania. Wioślarz II. trenuje VII mies.

W naszych więc badaniach odróżniliśmy trzy zasadnicze formy dostosowania rytmu oddechowego do rytmu wiosłowania, mianowicie (Rys. 1, 2):

Typ A:

pojedyńczy — (wdech — na fazie pracy w wodzie, wydech — na fazie pracy nad wodą; odpowiada typowi A_0 i A_1 H. Rahna),

podwójny I (A_2) — (na fazie pracy w wodzie — wdech, wydech, na fazie pracy nad wodą — wdech, wydech; odpowiednik typu A_2 H. Rahna),

podwójny II (A_3) — (na fazie pracy w wodzie, — wdech, na fazie pracy nad wodą — wydech, wdech, wydech, a więc półtora oddechu; rzadko na tempie powolnem, a zupełnie niespotykany na t. szybk.).

Typ B:

pojedyńczy — (wydech — na fazie pracy w wodzie, wdech na fazie pracy nad wodą; odpowiada typowi B_0 i B_1 H. Rahna),

podwójny I (B_2) — (na fazie pracy w wodzie — wydech, wdech, na fazie pracy nad wodą — wydech, wdech; odpow. B_2 H. Rahna),

podwójny II (B_3) — (na fazie pracy w wodzie — wydech, na fazie pracy nad wodą — wdech, wydech, wdech, czyli półtora oddechu jak w typie A_3; spotykany najczęściej zarówno podczas powolnego jak i szybkiego wiosłowania).

Typ zmienny — (A i B naprzemian, o różnej częstości oddechów, a więc albo pojedyńczy albo podwójny).

Wszystkie te postacie dostosowania ze względu na częstość oddechów na uderzenie wiosła przebiegały, jak to już zaznaczono, jako oddechy pojedyńcze (jeden oddech na uderzenie) oraz podwójne (dwa, a niejednokrotnie na tempie powolnem trzy oddechy (Rys. 4aI) na uderzenie. Ścisłej charakterystyki odmian tych trzech zasadniczych typów nie dało się określić ze względu na trudności techniczne, nie pozwalające z całą dokładnością oznaczyć początku wdechu. Początek wydechu zachowywał się u poszczególnych osobników różnie, raz więc przypadał z rozpoczęciem fazy (np. pracy w wodzie), drugi raz pod koniec fazy poprzedniej, to znowuż z opóźnieniem na danej fazie (Rys. 1, 2).

Z pośród wspomnianych wyżej trzech postaci dostosowania najczęściej występuje typ B (wydech na fazie pracy w wodzie).

W ogólnem zestawieniu wyników (tab. II) przewaga ta wynosi:

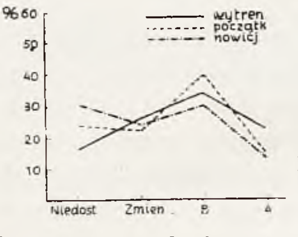
podczas powolnego wiosłowania 52% w stosunku do 25% typu A i 21% typu zmiennego;

podczas szybkiego wiosłowania 37% w stosunku do 17,5% typu A i 24% typu zmiennego.

TAB. II.

Formy dostosowania oddechu w procentach osobników badanych na tempie powolnem i szybkiem (przeciętne z dwóch badań).

Tempo wiosłowania	Typy A %	Typy B %	Typy Zmienny %	Całkowity proc. dostosowania
powolne (turyst.) (12—15 uderz./min.)	25±1	52±0	21±1	98
szybkie (22—28 uderz./min.)	17,5±1	37,5±0	24±3	79



Rys. 6. Występowanie różnych form dostosowania oddechu pod wpływem wytrenowania.

Chcąc stwierdzić o ile wpływa na występowanie poszczególnych typów stopień wytrenowania, podzieliliśmy całość badanych na początkujących (wiosłujących od 3 tyg. do 8 mies.) oraz na trenujących stale od dwóch lat wzwyż (tab. III a i b).

TAB. III a i b.

Występowanie różnych form dostosowania mechanizmu oddechowego do rytmu wiosłowania oraz brak dostosowania w zależności od stanu wytrenowania wioślarskiego i od szybkości wiosłowania (przeciętna dwóch badań).

Tab. IIIa. Tempo powolne (szybk. 12—15 uderzeń/min.).

Wioślarze	Ogólna ilość badanych	Typy A %	Typy B %	Typy Zmienny %	Brak dostosowania %
Początkujący (jednoroczni)	27	24 ± 2	52 ± 0	24 ± 0	—
Wytrenowani (kilkuletni)	23	26 ± 0	52 ± 0	17,5 ± 0	4,5 ± 0

Tab. IIIb. Tempo szybkie (szybk. 22 — 28 uderzeń/min.).

Wioślarze	Ogólna ilość badanych	Typy A %	Typy B %	Typy Zmienny %	Brak dostosowania %
Początkujący (jednoroczni)	25	14±2	40±0	22±6	24
Wytrenowani (kilkuletni)	23	22±0	34,5±0	26±0	17,5±0

TAB. IV.

Formy dostosowania mechanizmu oddechowego do rytmu wiosłowania u wioślarzy wiosłujących od 3—5 tygodni, — w zależności od szybkości wiosłowania.

Tempo wiosłowania	Ogólna ilość wiośl. badanych	Typy A %	Typy B %	Typy Zmienny %	Brak dostosowania %
Powolne (turyst.) (12 — 15) ud./min.	10	25 ± 5	30 ± 0	45 ± 5	—
szybkie (22 — 28 ud./min.)	8	12,5 ± 0	31 ± 6	25 ± 12	31 ± 6

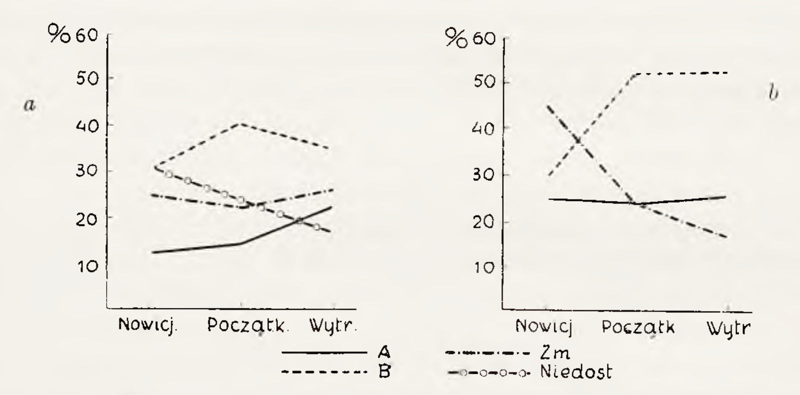
Okazuje się, że i wtedy w obu grupach przeważa typ B, przyczem różnice między jedną i drugą grupą ledwie się zaznaczają na tempie powolnego wiosłowania (tab. IIIa). U początkujących jak i kilkuletnich (wytrenowanych) występuje typ B w 52%, pozostałe zaś, a więc typ A w stosunku 24% i 26% (a więc w ilościach równych), a typ zmienny z nieznaczną przewagą u początkujących 24% :17%.

Wyraźnie różnią się obie grupy na tempie szybkiego wiosłowania (tab. IIIb). Jakkolwiek i tu przeważa u jednych i drugich typ B (wydech na pracy w wodzie) — to jednak u początkujących występuje częściej 40% : 34%, częstszy jest tu również brak dostosowania oddechu do pracy 24% : 17% i mniejszy procent typu A 14% : 22%.

Aby mieć pełniejszy obraz zależności formy dostosowania mechanizmu oddechowego od treningu wioślarskiego wydzieliliśmy jeszcze z grupy początkujących wioślarzy - nowicjuszy, wiosłujących 3—5 tyg. (tab. IV).

W tej grupie różnica zależna od szybkości wiosłowania jak i stopnia wytrenowania jest bardzo wybitna i charakterystyczna — szczególnie w porównaniu z grupą wytrenowanych (tab.

IIIa i b). I tak — na tempie powolnem przeważa u nowicjuszy typ zmienny w stosunku 45% : 30% typu B i 25% typu A (spadek typu B i wzrost typu zmiennego).



Rys. 7. Wpływ stopnia wytrenowania na dostosowanie mechanizmu oddechowego do rytmu wiosłowania. a — tempo szybkie, b — tempo powolne.

Na tempie szybkiego wiosłowania (22—28 ud.) uderza (u nowicjuszy) — w porównaniu z tempem powolnem i wytrenowanymi (tab. IV i IIIb) — duży procent niedostosowania oddechu, wynoszący 31%. Typ B zachowuje się prawie bez zmian (31%), spada natomiast typ zmienny do 25%, a typ A do 12%. (Tab. IV. Rys. 7a i b).

TAB. V.

Procentowy udział niewytrenowanych i wytrenowanych w obrębie każdego typu, jako całości (100 %).

Tempo szybkie.

Wioślarze	Typy A %	Typy B %	Typy Zmienny %	Brak dostosowania %
Początkujący . .	41 ± 3,5	55,5 ± 0	47 ± 7	59,5 ± 4,5
Wytrenowani . .	59 ± 3,5	44,5 ± 0	53 ± 3	40,5 ± 4

Dobitniej ilustruje zależność form dostosowania oddechu do rytmu wiosłowania od stopnia wytrenowania tabela V (oraz rys. 5), w której obliczono procentowy udział początkujących i wytrenowanych w obrębie każdego typu jako całości. W grupie więc osobników

o typie A przeważają wytrenowani w stosunku 59% : 41%,
o typie B przeważają niewytrenowani w stos. 55,5% : 44,5%,
o typie zmiennym zaznacza się pewna równow. 47% : 53%,
wśród niewykazujących dostosowania oddechu przeważają niewytrenowani w stosunku 59,5% : 40,5% (odwrotnie jak w grupie typu A).

Rys. 8. Udział niewytrenowanych i wytrenowanych w obrębie każdego typu (w %).

OMÓWIENIE WYNIKÓW.

Przystępując do omówienia wyników badań należy stwierdzić, że podczas wiosłowania rytm oddechowy uzgadnia się automatycznie z rytmem pracy, o czem świadczy prawie stuprocentowe dostosowanie oddechu u początkujących i wytrenowanych na tempie powolnem. Uzgodnienie to ulega jednak zakłóceniu przy wzroście szybkości a tem samem i intensywności pracy. Znalazło to swój wyraz w niedostosowaniu się oddechu do pracy przy tempie szybkiego wiosłowania: u nowicjuszy w 31%, u średnio zaawansowanych (początkujących) w 24% i u trenujących stale (wytrenowanych) w 17%. U tych ostatnich brak dostosowania występuje w mniejszym stopniu, co przemawia za tem, że wpływ treningu zaznacza się wyraźnie przy maksymalnym wysiłku.

Oceniając poszczególne formy dostosowania rytmu oddechowego do pracy, należy stwierdzić, że najprostszą postacią uzgodnienia jest oddech zmienny, występujący podczas tempa powolnego w 45% badanych nowicjuszy, wiosłujących 2—5 tyg. Zostawiając narazie omówienie tej formy uzgodnienia oddechu z pracą zauważymy, że poza nią najczęściej występuje typ B, niezależnie od szybkości pracy i od czasu trenowania — z pewną tendencją do częstszego występowania u średnio zaawansowanych. Drugą zrzędu co do częstości postacią jest typ zmienny — ostatnią wreszcie typ A, zależny wyraźnie od szybkości wiosłowania i od stopnia wytrenowania.

Ostatecznie więc wyniki badań naszych zbliżają się do tych, jakie uzyskali na dużym materjale *Knoll* i *Schreiber*.

Mniejsze wartości procentowe poszczególnych typów (stosunek typu B do A u Knolla równa się 58% : 31% — u nas 37% : 17%) należy tłumaczyć wyodrębnieniem typu zmiennego. Na podstawie naszych wykresów, obejmujących przeciętnie od 45—60 uderzeń wiosła na tempie powolnem i około 45 na tempie szybkiem u każdego osobnika, nie mogliśmy tych wyników zaliczyć, albo do typu A, albo do typu B, jak to w indywidualnych przypadkach uczynił *Rahn,* badając 20—25 uderzeń na kimografie.

Fakt częstego występowania typu B u niewytrenowanych (52% na tempie powolnem i 40% na tempie szybkiem) każe przypuszczać, że jest to forma, która najprędzej ulega automatyzacji i która utrwala się w bardzo licznych przypadkach, mimo udoskonalenia technicznego wioślarza w miarę treningu. Że ta stabilizacja typu B nie jest jednak ostateczna, o tem świadczy wyższy aniżeli u początkujących — procent typu A na tempie szybkiem u wytrenowanych (Tab. III b). Forma więc dostosowania oddechu ulega w pewnych przypadkach ewolucji pod wpływem treningu w kierunku typu A, jak to już przypuszczał *Rahn.* Ewolucja ta nie jest jednak regułą i zdaje się przebiegać nie od typu B do A, lecz od typu zmiennego (który u nowicjuszy t. zn. trzechtygodniowych wioślarzy wynosił na tempie powolnem 45%), przytem najczęściej stabilizuje się u wytrenowanych typ B.

Brak jednolitości w formie dostosowania rytmu oddechowego należy tłumaczyć warunkami mechaniki wiosłowania, której złożona koordynacja stwarza szerokie możliwości indywidualizacji technicznej. W tem leży istotna trudność analizy kinematyki wiosłowania pod kątem jej wpływu na mechanikę ruchów klatki piersiowej i to stanowi główny powód sprzeczności poglądów, jakie reprezentują *Rahn, Kleinknecht* i *Altrock* z jednej — oraz *Knoll* i *Schreiber* z drugiej strony. Podczas kiedy pierwsi uzasadniają na podstawie analizy mechano-fizjologicznej skłonność do nastawienia wdechowego podczas fazy pracy w wodzie — drudzy na tej samej zasadzie przypisują tej fazie szczególnie sprzyjające warunki dla wydechu.

Najważniejszy niewątpliwie wpływ na ruchy klatki piersiowej podczas wiosłowania wywiera charakter udziału kończyn górnych i mięśni tułowiu w pracy wioślarza, w związku z czem układa się taki czy inny zespół warunków dla oddechu. Z tego punktu widzenia najkorzystniejszą dla ruchów oddechowych

wydaje się być faza pracy nad wodą — od chwili kiedy tułów przeszedł z opadu tylnego do pionu lub nieco przedtem. Wtedy bowiem, po odrzucie wiosła, kończyny górne rozluźniają się, zwalniając tem samem napięcie mięśni obręczy barkowej, grzbietu (łopatki) i klatki piersiowej — tułów wraca z opadu tylnego do pionu przez co zmniejsza się napięcie mięśni pasa brzusznego. Dalszy etap tej fazy, a więc opad tułowiu do wyłożenia do przodu oraz podjazd — odbywa się głównie przy udziale zginaczy stawów biodrowych, kolanowych oraz zginaczy grzbietowych stawów skokowych.

Mały wysiłek tej fazy wyklucza konieczność ustalenia klatki piersiowej co, w połączeniu z rozluźnieniem mięśni pasa brzusznego, umożliwia skuteczne ruchy oddechowe (wydechowe i wdechowe).

Specjalne warunki posiada jednak początek i koniec tej fazy (pracy nad wodą). Podczas gdy środkowa część korzystna jest zarówno dla wdechu jak i wydechu, to warunki dla ruchów oddechowych początku tej fazy zależne są w dużej mierze od szybkości odrzutu wiosła przez kończyny górne oraz od stopnia rozluźnienia napięcia mięśni brzusznych. To ostatnie jest skolei zależne od kąta pochylenia tułowiu do tyłu. O ile (w czasie powrotu do pionu z opadu tylnego) silne napięcie utrzymuje się dłużej, wspomaga wydech (tłocznia brzuszna, obniżenie dolnych brzegów klatki piersiowej). Większe natomiast rozluźnienie umożliwia raczej wdech (zmniejsza się tłocznia brzuszna, dolny brzeg klatki piersiowej idzie ku górze — klatka piersiowa nieustalona, kończyny luźne). Zwolnienie napięcia mięśni brzusznych zależy prawdopodobnie od siły prostowników stawów biodrowych i od wielkości opadu wtył. (Na tym początkującym odcinku pracy nad wodą spotykaliśmy wstrzymanie oddechu albo wydech u początkujących wioślarzy).

W końcowym momencie tej fazy — pracy nad wodą — nogi są silnie zgięte we wszystkich trzech wielkich stawach, tułów znajduje się w silnym opadzie, a częściowo i skłonie wprzód, kończyny górne, wysunięte do przodu pod kątem rozwartym do tułowiu — trzymają rękojeść wiosła. Zgięty kręgosłup piersiowy, ściśnięta jama brzuszna, dolny brzeg klatki piersiowej przyciągnięty do ustalonej miednicy (wskutek napięcia mięśni brzucha), — oto czynniki, które przy dużej pracy statycznej, zależnej od odruchowego napinania mięśni, wspomagają wydech. I tu

jednak przy małej pracy statycznej (np. mniejsze napinanie mięśni u wytrenowanych) kończyn górnych, podniesiona do góry obręcz barkowa sprzyja krótkiemu wdechowi piersiowemu, działając podobnie, jak unoszenie obręczy barkowej przy utrudnionym oddechu (dyspnoe) i głębokim wdechu.

Na tej fazie pod koniec rozpoczynali wdech dobrze wytrenowani wioślarze u *Rahna, Kleinknechta* i *Altrocka* w grupie typu A_1 (rys. 1, 2).

Ta faza pracy nad wodą kończy się ustaleniem klatki piersiowej dla rozpoczęcia właściwej pracy w wodzie.

Krótkotrwałego ustalenia wymaga przedewszystkiem precyzja zatopienia wiosła, która rozpoczyna fazę pracy w wodzie, oraz bardzo energiczny atak wody, aby doprowadzić wiosło do pozycji prostopadłej do łodzi. To położenie stanowi bowiem początek właściwej pracy wioślarza.

Atak rozpoczynają prostowniki stawów biodrowych, które unoszą tułów do pionu — prawie równocześnie jednak (zależnie od stylu) zaczyna się praca prostowników kolan i zginaczy podeszwowych stawu skokowego przy udziale mięśni krzyża, grzbietu i brzucha. Siła wspomnianych grup mięśniowych przenosi się na kończyny górne, które trzymając rękojeść wiosła pracują statycznie do chwili przejścia tułowiu do pionu i całego nieomal wyprostu kończyn dolnych. Od tego momentu zaczyna się ich praca dynamiczna — energiczny skurcz, wykańczający pociągnięcie, — nacisk i odrzut wiosła. W tej chwili przechodzi wioślarz do pracy nad wodą (wiosła w powietrzu).

Opisana wyżej faza pracy w wodzie łączy się z maksimum wydatku energetycznego wioślarza. Warunki mechaniczne, decydujące o rodzaju ruchów oddechowych (wdechu czy wydechu) zależne są przedewszystkiem od charakteru i natężenia pracy kończyn górnych oraz położenia tułowiu. Taki zaś czy inny układ i następstwo elementów ruchowych wiosłowania jest wynikiem indywidualnych zdolności koordynacyjnych wioślarza, znajdujących swój wyraz w stylu.

Prawdopodobnie bardziej pionowe ułożenie tułowiu w pierwszych dwóch trzecich tej fazy (pracy w wodzie), a więc wyprostowany kręgosłup a w związku z tem silne napięcie mięśni krzyża, grzbietu (ściągnięte łopatki) i pasa brzusznego (dla utrzymania tej postawy i przeciwdziałania sile przeciwnej, jaką stanowi opór wioseł) przy statycznie ustalonych w oparciu o wio-

sła kończynach górnych — usposabia raczej do wydechu (tendencja skurczowa mięśni, mających przyczepy na obręczy barkowej i kości ramiennej znajduje punkt zaczepienia na ustalonych statycznie kończynach górnych i działa uciskająco na klatkę piersiową). Wskutek skupienia się głównego wysiłku na kończynach dolnych — nie zachodzi tu ustalenie klatki piersiowej tego rodzaju jak przy ćwiczeniach siłowych, gdzie kończyny górne wykonują pracę maksymalną i dynamiczną. Warunki takie mogą zachodzić jedynie przy bardzo aktywnym a mało celowym udziale kończyn górnych w tej pracy oraz w momencie końcowym tej fazy.

Tłumaczy to do pewnego stopnia częstość występowania typu B (wydech podczas pracy w wodzie) u początkujących, skłonnych zawsze do silnych napięć statycznych i przykurczów dodatkowych (brak koordynacji).

Przeciwnie usposabia bardziej swobodne ułożenie tułowiu przy *zgiętym* kręgosłupie piersiowym, gdzie mięśnie krzyża i grzbietu pracują ze swego wydłużenia — dynamicznie — ruchomość klatki piersiowej jest zachowana i mięśnie wdechowe znajdują tu korzystny punkt oparcia na ustalonej obręczy barkowej i kończynach. Taki rodzaj pracy zdaje się przemawiać za typem A (wdech podczas fazy pracy w wodzie).

Ściślejsze wyjaśnienie wpływu warunków mechanicznych wiosłowania na przebieg rytmu oddechowego mogłaby dać jedynie metoda, oparta na filmowaniu ruchów wioślarza z jednoczesnem zsynchronizowanem notowaniem wdechu i wydechu na drodze elektrycznej, dla ścisłego określenia początku i końca oddechu, oraz pneumatycznej — dla wnioskowania o wzmożonem parciu w klatce piersiowej.

Typ zmienny, który spotkaliśmy u 45% nowicjuszy oraz u około 25% początkujących i wytrenowanych należy uważać za wyraz słabego uzgodnienia rytmu oddechowego z pracą. Za *Kohlrauschem* możnaby tłumaczyć zmiany formy uzgodnienia oddechu zmęczeniem mięśni oddechowych. Według tego autora, przy jednej postaci dostosowania (np. typie A) pracuje prawdopodobnie część oddechowych mięśni pomocniczych — inne, właściwe innej postaci uzgodnienia (np. typowi B) odpoczywają. Ustrój więc, broniąc się przed zmęczeniem układu oddechowego przechodzi z jednego typu na drugi, i w ten sposób utrzymuje sprawność mechanizmu oddechowego. Prawdopodobnie na takie

zmienne nastawienie rytmu oddechowego wpływa również częsta zmiana warunków mechanicznych wiosłowania, spowodowana nierównomiernym charakterem pracy w następstwie niedokładnej koordynacji mięśniowej i szybko zachodzącego zmęczenia. Decyduje więc o tem, wspomniany wyżej zmienny charakter udziału górnej części tułowiu w pracy oraz nieodpowiednie przenoszenie aktywności dynamicznej z kończyn dolnych na górze i odwrotnie, czyli wiosłowanie niestylowe. Istotną przyczyną tej zmienności koordynacyjnej jest, jak już zaznaczono, brak zaprawy i szybko zachodzące zmęczenie. Typ zmienny cechuje więc raczej stan słabego wytrenowania.

Wysoki procent niedostosowania rytmu oddechowego do pracy należy częściowo odnieść do następstw oddychania przez maskę, częściowo zaś do słabego wytrenowania. Do ostatniego przypuszczenia skłaniamy się na podstawie opinji trenerów, wypowiadających się w sprawie wytrzymałości fizycznej badanych. Okazało się, że brak uzgodnienia wykazywali przeważnie wioślarze szybko się męczący i słabsi fizycznie. Objektywnem potwierdzeniem tego przypuszczenia jest występowanie niedostosowania z reguły przy tempie szybkiego wiosłowania, które wybitnie podnosi wysiłek wioślarzy.

Należy jeszcze dodać, że w kilku przypadkach, niewykazujących typowego uzgodnienia o formie A czy B — spotkaliśmy bardzo równy rytm oddechowy niezależny od rytmu pracy. Przypadało tu więc często półtora oddechu na uderzenie — tak, że typ A względnie B powtarzał się co pewną ilość uderzeń (naprzykład co 2 albo co 6 uderzeń). Tu więc oba rytmy — oddechu i pracy — szły regularnie, niezależnie od siebie. Uwzględniając jednak warunki mechaniczne pracy trzeba przypuścić, że taki charakter przebiegu obu rytmów łączy się z mniejszą wydajnością pracy.

Inny stosunek liczby oddechów do uderzeń wiosła znalazł *Liljestrand,* badając wymianę gazową i pojemność minutową serca u wioślarzy na zwykłej łodzi o stałem siedzeniu. Jego badani wykonywali oddechy w rytmie wiosłowania albo co każde uderzenie, albo co drugie, względnie trzecie uderzenie. W porównaniu z wynikami innych autorów wskazuje to na jeszcze jedną zależność uzgodnienia oddechu z pracą od typu łodzi.

Przeprowadzone u 15 wioślarzy (nowicjuszy i początkujących) pomiary obwodu klatki piersiowej, nie pozwoliły stwier-

dzić żadnej typowej zależności między formą dostosowania oddechu i obwodem klatki piersiowej. Maksymalny obwód przy głębokim wdechu wahał się w granicach od 94 cm — 105 cm, przeciętnie 98,6 cm — przy zupełnym wydechu od 83 — 94 cm, przeciętnie 87,7 cm. Różnica między wdechem a wydechem wynosiła przeciętnie 11 cm (maksymalna 13, minimalna 9). Z różnicy wdech/wydechowej należy przypuszczać o dużej pojemności życiowej, stwierdzonej już niejednokrotnie u wioślarzy przez innych autorów *(Reicherówna, Worringen)*.

Podobnie negatywny był wynik czasu bezdechu, badany u tych samych osobników. Uderzają jedynie wysokie cyfry, wahające się w granicach od 67 — 131 sekund. W trzech przypadkach czas bezdechu znajdował się poniżej 1 minuty — 45 do 50 sekund.

Jak już wspomniano duża część badanych wioślarzy zarówno początkujących jak i wytrenowanych wykonywała dwa oddechy na uderzenie. Procent podwójnych oddechów był mniejszy na tempie szybkiego wiosłowania. Przy oddechach pojedyńczych dały się często zauważyć oddechy dodatkowe, występujące z reguły na fazie pracy nad wodą. *Knoll* i *Schreiber* nie spotkali wogóle oddechów podwójnych, *Rahn* i *Kleinknecht* jedynie u początkujących.

Problem jednego czy dwu oddechów na uderzenie wiosła z punktu widzenia techniki wiosłowania przemawia raczej za oddechem pojedyńczym — fizjologicznie jednak sprawa nie jest tak prosta. Wskutek bardzo wzmożonej wentylacji podczas wiosłowania, dochodzącej niekiedy do 100 litrów na minutę, ograniczenie rytmu oddechowego odbywa się, jak na to wskazują badania przemiany gazowej, które przeprowadzili u wioślarzy na różnych typach łodzi *Niemierko* i *Preisler* — kosztem pogłębienia oddechu. Badania wspomnianych autorów wskazują nadto, że wzrost wentylacji zależny jest w dużej mierze od szybkości wiosłowania i od treningu. Potwierdzają to badania przemiany gazowej przeprowadzone przy innego rodzaju pracy *(Dautrebande, Hansen, Missiuro)*.

Zbytnie zaś powiększenie objętości oddechowej podczas pracy (głębokości oddechu) w następstwie wzmożonej wentylacji wpływa ujemnie na sprężystość tkanki płucnej i sprowadza zwiększenie wdechowego ustawienia płuca *(Durig, Missiuro, Ulrik)*, które pozostaje jeszcze jakiś czas po pracy. Zachodzi więc

pytanie, czy ten stan nadwyrężenia sprężystości tkanki płucnej przy powtarzaniu wysiłku (jak to często zachodzi na regatach wtedy, kiedy ta sama osada bierze udział w kilku biegach) nie wpłynie zczasem na powstanie stałej rozedmy. Fakt powstawania tak zwanej rozedmy wysiłkowej (Arbeitsemphysem) stwierdzili również rentgenologicznie przy zmęczeniu *J. Schick* i *A. Grünberg*. Wyjaśnić to zagadnienie mogą badania rytmu oddechowego z jednoczesnemi pomiarami całkowitej wentylacji płucnej przed, podczas i po wysiłku oraz kontrola granic płucnych przed i po wysiłku.

O jednym więc czy dwóch oddechach na uderzenie decydować będą obok zaprawy, która zmniejsza wentylację podczas pracy a podnosi wykorzystanie tlenu *(Missiuro)* — pewne cechy indywidualne, koordynacyjne. Przemawiają za tem z jednej strony wyniki badań *Kleinknechta, Rahna* i *Altrocka,* którzy jak już wspomniano wyżej znaleźli oddech podwójny wyłącznie u niewytrenowanych (początkujących); z drugiej zaś strony na ostatnią zależność (koordynacyjną) wskazuje w naszych przypadkach występowanie oddechu podwójnego u dobrze wytrenowanych wioślarzy w tym samym nieomal stopniu, co u niewytrenowanych. Często zauważaliśmy, że wioślarze rozpoczynający pracę przy jednym oddechu przechodzili w trakcie wiosłowania na oddech podwójny (bardziej celowy ze względu na mniejszą objętość oddechową *(J. Schick* i *A. Grünberg).*

Dodać jeszcze należy, że *Kolb* [1]) w swoich badaniach, przeprowadzonych na wioślarzach, wskazuje na brak uzgodnienia rytmu oddechowego z rytmem wiosłowania, jakkolwiek *Liljestrand* znajduje u dwóch wioślarzy tego autora wyraźne uzgodnienie między liczbą oddechów i liczbą uderzeń wiosła.

Na koniec wspomnieć jeszcze należy o zespole czynnościowym typowym dla warunków doświadczenia Valsalvy podczas wiosłowania. Spowodu trudności technicznych nie dało się tego zbadać dokładnie. Według naszych jednak wykresów przypuszczać należy, że warunki te powstają krótko na przejściu z pracy w powietrzu do pracy w wodzie (przed zatopieniem wiosła) u oddychających typem B i prawdopodobnie mogą przedłużyć się na początkową część ataku. Na wykresach wydechy były w tych

---

1) Przytoczone wdg. Liljestrand'a „Zur Physiologie des Ruderns". Skand. Arch. Phys. 39. 1920.

przypadkach opóźnione, wysokie i strome — spotykaliśmy je z reguły podczas wiosłowania szybkiego i najczęściej u początkujących. Na powstanie warunków doświadczenia Valsalvy wpływa tu niewątpliwie niekorzystna koordynacja mięśniowa zakłócona jeszcze szybkością pracy. Wzmożone parcie o charakterze doświadczenia Valsalvy może również zachodzić w końcowym momencie tej fazy (pracy w wodzie) podczas pracy dynamicznej kończyn górnych. Na wykresach, odpowiadających temu momentowi spotykaliśmy wstrzymanie oddechu. Na zjawisko mechaniczne wiosłowania, połączone z oddechem o typie A_1 (praca przy wdechowem ustawieniu płuca i wstrzymaniu oddechu, ucisk na jamę brzuszną przez ugięte kończyny, zbliżenie dolnego brzegu klatki piersiowej do spojenia łonowego, a w następstwie tych czynników wyższe ustawienie przepony) sprowadzają — odmienne wprawdzie niż w warunkach doświadczenia Valsalvy — wzmożenie parcia płucnego, które wpływa jednak równie ujemnie na krążenie. Wpływowi tego zespołu warunków mechano - fizjologicznych przypisuje *Durig* częste wypadki śmierci u wioślarzy podczas zawodów na mistrzostwach wioślarskich w Anglji na Tamizie.

U kobiet otrzymane wyniki nie różnią się zupełnie od tych, jakie otrzymaliśmy u mężczyzn. Z tego powodu nie traktowaliśmy ich opisu osobno. Do identycznego wniosku doszli *Rahn* i *Kleinknecht* na podstawie swoich badań. Wpływa na to niewątpliwie zmiana typu oddechowego u kobiet, pod wpływem uprawiania ćwiczeń cielesnych z piersiowego na brzuszny *(Arnold, H. Gould, Schling)*.

WNIOSKI.

Na podstawie wyniku badań doszliśmy do następujących wniosków:

Wiosłowanie pociąga za sobą automatyczne dostosowanie rytmu oddechowego do pracy, stwierdzone w 100% u nowicjuszy, początkujących i zaawansowanych technicznie wioślarzy (nieszkolonych w oddychaniu) na tempie powolnego wiosłowania.

Dostosowanie oddechu zależne jest wybitnie od szybkości wiosłowania i ulega zakłóceniu przy większych szybkościach. Zakłócenie to występuje rzadziej u wioślarzy dłużej trenujących.

Uzgodnienie rytmu oddechowego przebiega w trzech zasadniczych postaciach któremi są:

typ A, z wdechem podczas pracy w wodzie, i wydechem podczas pracy nad wodą — typ B, z odwrotnem nastawieniem ruchów oddechowych, i typ zmienny, a więc A i B naprzemian, co pewną niestałą ilość uderzeń. (Częste odmiany wspomnianych typów dotyczą początku wdechu względnie wydechu). Co do częstości oddechu na uderzenie spotykano nieomal w równych procentach formy A i B o jednem oddechu i o dwóch oddechach na jedno uderzenie.

Najczęstszą postacią dostosowania oddechu do wiosłowania bez względu na szybkość pracy i stopień zaprawy jest typ B (wydech — na fazie pracy w wodzie, wdech — na fazie pracy nad wodą).

U bardzo słabo zaawansowanych technicznie przeważa typ zmienny (A i B naprzemian).

Typ A (wdech podczas pracy w wodzie, wydech podczas pracy nad wodą) jest formą oddechu wytrenowanych.

U początkujących zachodzi możliwość przejściowego powstania warunków zbliżonych do klasycznego doświadczenia Valsalvy z tendencją do częstszego występowania podczas wiosłowania szybkiego.

Na tem miejscu pozwalam sobie bardzo serdecznie podziękować Wielce Szanownemu Panu Docentowi Dr. Missiuro za łaskawe powierzenie mi niniejszej pracy oraz cenne wskazówki przy jej przeprowadzeniu i opracowywaniu.

. Serdeczne podziękowanie składam również warszawskim klubom wioślarskim: „Warsz. Kl. Wioślarek", „Warsz. Tow. Wioślarzy, za pozwolenie przeprowadzenia badań, w szczególności zaś A.Z.S.owi warszawskiemu z trenerem p. Budzyńskim za bardzo sprawną i pełną zrozumienia organizację przy badaniach oraz „K. W. Wisła" z trenerem Zglińskim za życzliwy stosunek do badań.

PIŚMIENNICTWO.

Altrock H. u. Rahn H. Die Atmung des Ruderers. Leibesüb. *4*. 1932.

Arnold A. Körperentwicklung und Leibesübungen. Leipzig 1931.

Beck A. Podręcznik Fizjologji. Lwów. Tom II. 1924. (Mechanizm oddych. Zbyszewski).

Długoszewski W. Wioślarstwo. Kraków 1935.

Dautrebande L. Les réactions respiratoires à l'entrainement. Le Travail Humain. *III*. 1935.

Durig A. Ueber die Physiologischen Grundlagen der Atemübungen. Wien 1931.

Efimoff u. Arschawski. Die Einwirkung der Hyperventilation bei sehr schwerer Arbeit auf die Erholung. Arb. Phys. *2*. 1929.

Hansen E. Der Einfluss des Arbeitstempos auf Respiration und Kreislauf. Skand. Arch. für Physiol. *54*. 1928.

Knoll W. u. Arnold A. Normale und pathologische Physiologie der Leibesübungen. Leipzig 1933.

Knoll W. u. Schreiber C. Beziehungen zwischen Atmung u. Technik beim Rudern. Arb. Phys. 7. 1933.

Kohlrausch W. Der Atemtypus bei verschiedenen sportlichen Uebungen. Münch. Med. Wochenschrift 1915. 1921.

Liljestrand A. u. Lindhard J. Zur Physiologie des Ruderns. Skand. Arch. Physiol. *39*. 1920.

Malze T. Oddychanie przy wiosłowaniu. Sport wodny, *15*. 1926.

Missiuro W. Fizjologja pracy II. Oddychanie podczas pracy. — Przegl. Fizjologji Ruchu nr. 3—4 1935 (w maszynopisie).

Missiuro W. O wpływach systematycznych ćwiczeń fizycznych na zjawiska przemiany oddechowej. — Przegl. Fizjologji Ruchu. 1933/3.

Niemierko S. i *Preisler E.* Badania sportów wodnych. III. Wymiana gazowa podczas wiosłowania. Przegl. Fizjol. Ruchu. 7. 1936.

Piasecki E. Zarys teorji wychowania fizycznego. Lwów, 1935.

Rahn H. u. Kleinknecht. Die Atemführung beim Riemenrudern. Arb. Phys. *3*. 1930.

Reicher E. O działaniu ćwiczeń cielesnych na ustrój ludzi zdrowych i chorych. Warszawa 1932.

Schick J. u. Grünberg A. Roentgenologische Atemstudien bei körperlicher Arbeit und Ermüdung. Arb. Phys. *8*. 1935.

Schlink E. Ueber dem Einfluss der Leibesübungen auf den Atemtypus. Arb. Phys. 5. 1932.

(Zakład Fizjologji Centralnego Instytutu Wychowania Fizycznego
im. Pierwszego Marszałka Polski Józefa Piłsudskiego
i Pracownia Rady Naukowej Wychowania Fizycznego.
Kierownik Doc. Dr. W. Missiuro).

S. Niemierko i E. Preisler

BADANIA FIZJOLOGICZNE SPORTÓW WODNYCH. III. WYMIANA ODDECHOWA PODCZAS WIOSŁOWANIA.

Physiologische Untersuchungen über Wassersporte. III. Gasstoffwechsel beim Rudern.

Wpłynęło 8.IV.1936.

Die vorliegenden Untersuchungen hatten die Tätigkeit des Atmungsapparats beim Rudern in drei Arten von Booten (turistischem Zweier mit kurzen Rudern, Kajak und Fischerboot) zum Gegenstand, sowie die Feststellung der eventuellen Unterschiede und die Bestimmung des Energieaufwandes während der Arbeit auf den genannten Bootstypen, in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Ruderns.

. Die bisherigen Untersuchungen auf dem Gebiete des Gasstoffwechsels beim Rudern berücksichtigten vorwiegend nur einen Bootstypus (Fischerboote — *Liljestrand und Lindhard*, (Rennboote — *Henderson und Haggard, Ewig)*, es fehlen dagegen, die Untersuchung von *Wohlfeil* ausgenommen, vergleichende Angaben über den Energieaufwand beim Rudern in verschiedenen Arten von Booten.

Unsere Untersuchungen wurden im Wassersportlager des Zentralinstituts für Körpererziehung an dessen Zöglingen vorgenommen. Der Gasstoffwechsel wurde während der Ruhe, Arbeit und Erholung nach der *Douglas - Haldane'schen* Methode gemessen, die Atemfrequenz und die Zahl der Ruderschläge mittels

Bouillitte's Poligraphen registriert (die Beschreibung der Registrierung enthält der Beitrag von *Preisler*).

Im ganzen wurden drei Serien von Experimenten in der allgemeinen Anzahl von 42 durchgeführt, welche sich durch die Länge der Strecke und das Tempo des Ruderns voneinander unterschieden. In jeden Serie ruderte der Untersuchte auf dem See längs einer jede 100 m. abgesteckten Strecke im Boot und im Kajak. Aus technischen Gründen (der Untersucher war gezwungen die Stelle des zweiten Ruderers einzunehmen) konnte das Experiment nicht in einem Boot mit normaler Besatzung durchgeführt werden. Sowohl die Fischerboote, als auch die anderen, welche für zwei Ruderer berechnet waren, wurden von einer Person bedient.

Die erste Serie umfasste Experimente auf einer 1000 m Strecke beim Rudern in einem für beide Bootstypen möglichst gleichmässigem Turistentempo (1000 m. im Zweier durchchnittlich 10'10", im Kajak 10'12").

In der zweiten Serie ruderten dieselben Untersuchten mit möglichst grosser Geschwindigkeit auf einer 500 m Strecke (Geschwindigkeit des Zweiers 4'14", des Kajaks 4'57").

Die dritte Serie umfasste Experimente mit anderen Versuchspersonen auf einer 2000 m. Strecke, beim Rudern in Zweiern, Kajaken und Fischerbooten, im Turistentempo, welches demjenigen der Serie I beinahe gleichkam.

Das Rudern im Turistentempo (Serie I und III) gehört zu den mässigen Anstrengungen, deren Intensität solchen Sporten wie das Radeln, Skilaufen etc. gleich zusetzen ist. Es erfolgt bei funktionellem Gleichgewicht des Organismus (steady state). Sowohl der O_2 Verbrauch und die Ausscheidugg von CO_2, als auch die Ventilation (Tab. I, III, VI und VII) erreichen nach 2—4 Minuten dauernder Arbeit ein Niveau, welches bis zum Schluss des Experiments dasselbe bleibt und nur kleinen Schwankungen unterliegt. Die kleinsten Schwankungen in der Grösse des Gasstoffwechsels treten beim Rudern im Kajak auf (Zeichn. 4), dagegen sind sie beim Rudern im Fischerboot (Zeichn. 3) und insbesondere im Zweier (Zeichn. 2) bedeutend stärker. Wahrscheinlich ist der Grund die Technik des Ruderns, welches auf Booten viel schwieriger ist als in Kajaken.

Beim Rudern in schnellem Tempo sowohl im Zweier, als auch im Kajak, bleiben der O_2-Verbrauch, die Ausscheidung von

CO_2 und die Ventilation (Tab. II und V) nicht auf einem beständigen Niveau, sondern steigen während der Dauer des Experiments und erlangen ihre höchsten Werte beim Schluss des Ruderns. Wir haben den toten Punkt (welcher nach *Ewig* bei solchen Anstrengungen wie das Rudern auftritt) nicht konstatiert. Es kann dies daran liegen, dass unsere Experimente von kurzer Dauer waren und wahrscheinlich noch vor dem Auftreten des toten Punktes unterbrochen wurden.

Die Steigerung des O_2-Verbrauchs beim Rudern im Zweier ist immer grösser als beim Rudern im Kajak. Bei grösserer Geschwindigkeit erreicht der O_2 Verbrauch bis 117% des Ruhewertes (maximum 3.94 l/Min.) bei kleineren Geschwindigkeiten beträgt der O_2 Verbrauch beim Rudern im Kajak 538%, im Zweier dagegen 635% des Erholungswertes.

Beim Vergleich der Ventilationswerte während des Ruderns mit zwei verschiedenen Geschwindigkeiten stellten wir fest, dass beim Rudern im Turistentempo auf dem Zweier, die Ventilation bei dem gleichen Individuum höhere Werte erreicht (maxim. 59.8 l/Min) als beim Rudern im Kajak mit annähernd derselben Geschwindigkeit (maxim. 48.8 l/Min.). Die Beschleunigung des Tempos bewirkt beim Rudern im Kajak eine bedeutendere Steigerung der Ventilation als beim Rudern im Zweier; z. B. beim Individuum Z.N. erreichte die Ventilation beim Rudern im Zweier 75,0 l/Min., beim Rudern im Kajak bis 81,3 l/Min. (Tab. IV). Effekt der Ventilation, welcher sich durch den Quotient O_2 $cm^3/1$ l Vent. ausdrückt, ist beim Rudern im Kajak geringer als beim Rudern im Zweier. Dies tritt ausdrücklich beim Rudern in schnellem Tempo hervor. Der Ausnützungskoeffizient von O_2 während der Arbeit im Kajak sinkt unter den Ruhewert. Hiezu trägt die unbequeme Position des Kajakruderers bei, welche teilweise Bewegungslosigkeit des Brustkorbes und Behinderung des Blutkreislaufs bewirkt. Das Auftreten vieler Komponenten statischer Arbeit beim Rudern im Kajak (insbesondere bei grösserer Geschwindigkeit) bewirkt das stärkere Anwachsen des Respirationsquotients als beim Rudern im Zweier. Bei unseren Experimenten betrug der Maximalwert des RQ 1.36.

Die Tafeln VIII — X veranschaulichen den Energieaufwand beim Rudern in drei Bootstypen. Beim Turistentempo ist der Arbeits — O_2 — Verbrauch beim Rudern im Zweier um 42%

grösser als beim Rudern im Kajak. Bei Beschleunigung des Tempos vermindert sich die Differenz zwischen den Energieaufwand beim Rudern auf den zwei in Rede stehenden Typen. (durchschnittlich beträgt er 8%). Das Rudern im Zweier bringt grössere O_2-Schuld mit sich, als das Rudern im Kajak, die Beschleunigung des Ruderns im Kajak bewirkt ein grösseres Ansteigen der O_2 Schuld, als das Rudern im Zweier (Fig. 5).

Das Ergebnis der Untersuchungen, wonach der Energieaufwand beim Rudern im Zweier auf der gleichen Strecke und bei ähnlicher Geschwindigkeit grösser ist als beim Rudern im Kajak, ist durch die kompliziertere Technik des Ruderns im Zweier und auch den Unterschied in der Masse und Konstruktion der beiden Bootstypen zu erklären. Die Beschleunigung des Ruderns hat einen vorteilhaften Einfluss auf die Steigerung des Energieaufwandes beim Rudern im Zweier als im Kajak. Hiezu trägt die grössere Beständigkeit des Ruderrhytmus und die Möglichkeit der Arbeit im physiologischen Rhytmus bei, wogegen dies im Kajak durch das alternierende Rudern beiderseits, welches Schwankungen des Bootsschnabels und was daraus folgt, die Notwendigkeit zusätzlicher Schläge zur Wahrung der konstanten Fahrtrichtung erfordert, verhindert wird. Die unbequeme Position des Kajakruderers, welche ihm nicht gestattet die Rumpfmuskeln auszunützen, verursacht wenig wirksame Bewegungen bei grossem physiologischem Aufwande. Dies tritt insbesondere bei schnellem Tempo auf. Wahrscheinlich würde ein noch schnelleres Tempo des Ruderns in beiden Bootstypen als dies bei unseren Experimenten der Fall war, bei besserer Rudertechnik, und einem gewissen optimalen Tempo eine oekonomischere Arbeit auf Zweiern als auf Kajaken ergeben. Dagegen ist für turistische Zwecke vom energetischen Standpunkt aus der Kajak der oekonomischere Typus.

W szerokiej skali odmian wioślarstwa leży różnorodność jego oddziaływań na ustrój. Mechanika ruchu podczas wiosłowania, zależna w przeważającej mierze od konstrukcji i masy różnych typów łodzi oraz natężenie pracy są — z fizjologicznego punktu widzenia — momentem wyjściowym i decydującym

o stopniu i zakresie wspomnianych oddziaływań. W nich zaś kryje się istota racjonalizacji sportu.

Z tego stanowiska — obok wioślarstwa wyścigowego, jako terenu wysiłków maksymalnych — budzi szczególne zainteresowanie wioślarstwo turystyczne, jako problem wysiłków trwałych. Wiąże się z tem zagadnienie ekonomji wysiłku w zależności od techniki pracy i typu łodzi.

Badania w zakresie wymiany oddechowej podczas wiosłowania zapoczątkowali *Liljestrand* i *Lindhard.* Badając zmiany metabolizmu gazowego podczas różnych ćwiczeń fizycznych jak bieg, jazda na nartach, łyżwach, pływanie *(Liljestrand* i *Stenström)* autorzy zajęli się również i wiosłowaniem, podczas którego oznaczali natężenie wymiany gazowej, zmiany rytmu oddechowego oraz objętość minutową serca. *Liljestrand* i *Lindhard* ograniczyli się do oznaczeń wymiany gazowej podczas wykonywania pracy nie uwzględniając zmian w okresie wypoczynku, który, jak niezbicie wykazały późniejsze badania *Hilla* (1924), należy traktować pod względem fizjologicznym za integralną część okresu pracy. Wyniki więc badań *Liljestranda* i *Lindharda* nie pozwalają na obliczenie kosztu fizjologicznego pracy, dając jedynie pojęcie o natężeniu omawianego wysiłku. *Henderson* i *Haggard* przeprowadzili badania na rasowej łodzi (ósemce). Na zasadzie wyników swych doświadczeń autorzy obliczyli nietylko koszt pracy, lecz oznaczyli także współczynnik pracy pożytecznej. Wymienione bowiem badania przeprowadzone zostały w warunkach laboratoryjnych na specjalnie skonstruowanym ergomierzu o charakterze łodzi rasowej na 8 wioseł, pozwalającej na określenie wykonanej pracy w kgm. Autorzy oznaczali ilość wykonanej pracy również i drugą metodą, stosując motorówkę i mierząc ilość pracy potrzebnej do holowania łodzi przy różnych szybkościach. W badaniach swych autorzy uwzględniali zmiany ilorazu oddechowego jedynie w okresie spoczynku i wypoczynku, w okresie zaś pracy ograniczali się tylko do pomiarów zużycia tlenu.

Badania nad wpływem wiosłowania na zjawiska oddechowe i zmiany tętna przeprowadził *Ewig*, uważając ten rodzaj pracy za wysiłek wyczerpujący. Wg. badań *Ewiga* wydatek energetyczny podczas wiosłowania wzrasta wprost proporcjonalnie do szybkości wiosłowania.

Wohlfeil stwierdził wzrost wydatku energetycznego przy tempie turystycznem na łodziach klepkowych i kajakach w granicach od 80—300% wartości spoczynkowej, w wioślarstwie wyścigowem liczby te sięgają do 1000%. Poza wymienionemi badaniami brak jest w literaturze szczegółowych prac tyczących się omawianego zagadnienia.

Praca niniejsza została podjęta ze względu na to, iż dotychczasowe badania nie dają pełnego obrazu przebiegu wymiany gazowej podczas wiosłowania lub też były wykonywane w warunkach, odbiegających od normalnej pracy wioślarza. Zadaniem naszem było zbadanie czynności aparatu oddechowego podczas wiosłowania na różnych typach łodzi (dwójce turystycznej, krypie i kajaku), stwierdzenie ewentualnych różnic oraz ustalenie kosztu fizjologicznego podczas wiosłowania na wymienionych rodzajach łodzi.

METODYKA.

Badania przeprowadzono na obozie wodnym w Brasławiu na 20 słuchaczach Centr. Instytutu Wychow. Fizyczn. im. Pierwszego Marszałka Polski Józefa Piłsudskiego latem w roku 1934 [1]) i 1935.

Całość jednego doświadczenia obejmowało badanie wymiany gazowej w spoczynku, w czasie wiosłowania oraz wypoczynku, przyczem wszystkie oznaczenia wykonywano w łodzi w pozycji siedzącej. Badania przeprowadzano na łodziach klepkowych (dwójkach turystycznych na krótkie wiosła), krypach rybackich i kajakach dwuosobowych (klinkierach). Ze względów technicznych (badający zmuszony był zająć miejsce drugiego wioślarza) doświadczeń nie można było wykonywać w łodzi o normalnej osadzie. Zarówno więc kajaki jak i łodzie, obliczone na dwóch wioślarzy, były pociągane przez jednego. Badani wiosłowali na jeziorze wzdłuż wymierzonej co 100 m trasy, w jednym tylko kierunku dla uniknięcia wpływów zmiany kierunku wiatru w czasie jednego doświadczenia. Szybkość wiosłowania notowano co 100 m.

---

[1]) Doświadczenia w roku 1934 zostały wykonane przez Dr. *W. Pykę*.

Przy oznaczaniu wymiany gazowej (Rys. 1) posługiwano się metodą *Douglasa-Haldane'a*, pobierając powietrze wydechowe do worków *Douglasa* w odstępach 1—5 minutowych zależnie od długości trasy. Okres wypoczynku badano na mecie, przyczem badający lub sternik utrzymywał łódź na miejscu płytkiem dla uniknięcia kołysania się łodzi szkodliwego dla całkowitego powrotu do normy zjawisk oddechowych. W wielu jednak doświadczeniach okres 15 minut okazał się zbyt krótkim dla całkowitego wypoczynku. Zmiany metabolizmu gazowego w okresie wypoczynku badano w 1, 3, 7—8, 10—15 min.



Rys. 1. Badanie wymiany oddechowej podczas wiosłowania.
Fig. 1. Untersuchung des Gasstoffwechsels beim Rudern.

Rytm oddechowy i liczbę uderzeń wioseł notowano na poligrafie *Boullitte'a*. (Szczegółowy opis sposobu rejestracji umieszczony jest w pracy *Preislera* 1936).

Wykonano 3 serje doświadczeń w ogólnej liczbie 42, różniące się pomiędzy sobą długością trasy i tempem wiosłowania. W każdej serji badany wiosłował zarówno na łodzi jak i na kajaku. W I serji na trasie 1000 m w tempie turystycznem, możliwie zbliżonem dla obydwóch rodzajów łodzi. Zależnie od umiejętności badanego szybkość wiosłowania wahała się od 8'28"—12'45" (średnio dla dwójki — 10'10", dla kajaka 10'12"). W II serji ci sami badani wiosłowali możliwie szybko na trasie 500 m; czas wiosłowania na dwójce wynosił od 3'18" do 5'04" (średnio 4'14"), na kajaku od 3'44" do 6'02" (średnio 4'59").

III serja obejmowała doświadczenia przeprowadzone na innych osobnikach, wiosłujących na trasie 2000 m w tempie turystycznem, przyczem każdy z badanych wiosłował na trzech typach łodzi — na dwójce turystycznej, kajaku i krypie. Czas wiosłowania na dwójce wynosił od 16'55" do 19'50", na kajaku od 21' — 22', na krypie od 20' — 23'.

Osobnicy badani stanowili pod względem stopnia wyćwiczenia i warunków życia dość jednolity materjał. Pod względem natomiast umiejętności wiosłowania występowały dość duże różnice, zaznaczające się wyraźnie zwłaszcza przy łodziach klepkowych. Wiek badanych wahał się od 22—28 lat.

Doświadczenia przeprowadzono bądź w godzinach rannych naczczo, bądź też w godzinach przedpołudniowych, względnie (bardzo rzadko) popołudniu, zawsze jednak w 2—3 godziny po posiłku.

WYMIANA ODDECHOWA PODCZAS WIOSŁOWANIA.

Dla porównania zachowania się wentylacji, rytmu oddechowego i objętości oddechowej podczas wiosłowania na dwójce i kajaku w tempie turystycznem zestawiono Tab. I i II. Wielkość wentylacji podczas wiosłowania ulega u poszczególnych osobników znacznym różnicom indywidualnym. Maksymalne wartości wentylacji podczas wiosłowania na dwójce wahają się od 29.3 l/min (dośw. 29) do 59.8 l/min (dośw. 10), wynosząc od 373—729% wartości spoczynkowych. Podczas wiosłowania na kajaku wentylacja u tych samych osobników waha się w nieco mniejszych granicach: od 25.6 l/min (dośw. 19) do 48.8 l/min (dośw. 11), (od 317—630% wartości spoczynkowej). Należy zaznaczyć, że wentylacja podczas wiosłowania na dwójce przewyższa wielkość wentylacji u tego samego osobnika podczas wiosłowania ze zbliżoną szybkością na kajaku. Pomimo dużej rozpiętości wahań indywidualnych w wielkości wentylacji, przebieg krzywej wentylacji jest we wszystkich doświadczeniach zbliżony do siebie. Zarówno podczas wiosłowania na dwójce jak i na kajaku w 2—4 min. pracy wentylacja osiąga poziom, na którym zatrzymuje się już do końca okresu wiosłowania, ulegając nieznacznym wahaniom, zależnym prawdopodobnie nietylko od czasu trwania pracy i związanego z tem zmęczenia,

TAB. I.

Zmiany wentylacji, rytmu oddech. i obj. oddech. podczas wiosłowania na dwójce (1000 m., tempo turystyczne).

Ventilation, Atemfrequenz und Atemtiefe beim Rudern auf einem „Zweier" (1000 m., langsames Tempo).

Nr. dośw. *Nr. d. Exper.*	Osobnik *Vers. pers.*	Badanie — *Untersuch.*	Spoczynek *Ruhe*	Praca — *Arbeit*						Wypoczynek — *Erholung.*		
				2′	4′	6′	8′	10′	12′	1′	3′	7′
10	Z. N.	Wentylacja *Ventilation* l/min	8.17	35.9	39.9	59.8	49.8	53.8	—	37.5	17.4	13.4
		Rytm oddechowy *Atemfrequenz*	10	16	18	24	22	22	—	18	15	12
		Objętość oddech. *Atemtiefe* ccm	817	2243	2218	2490	2464	2447	—	2084	1160	1114
18	K. M.	Wentylacja *Ventilation* l/min	9.65	25.8	27.2	33.4	36.2	32.9	—	21.4	11.3	9.45
		Rytm oddechowy *Atemfrequenz*	16	17	22	20	23	23	—	15	12	11
		Objętość oddech. *Atemtiefe* ccm	603	1520	1237	1671	1576	1430	—	1302	860	787
20	M. B.	Wentylacja *Ventilation* l/min	9.87	30.1	34.2	32.2	36.3	—	27.9	23.4	10.2	11.6
		Rytm oddechowy *Atemfrequenz*	18	—	28	27	25	—	30	24	24	20
		Objętość oddech. *Atemtiefe* ccm	548	—	1339	1192	1452	—	931	971	426	582
28	T. B.	Wentylacja *Ventilation* l/min	7.71	26.5	43.3	40.2	36.9	41.4	—	26.9	13.0	—
		Rytm oddechowy *Atemfrequenz*	18	24	22	22	22	26	—	16	17	—
		Objętość oddech. *Atemtiefe* ccm	428	1237	1966	1828	1678	1588	—	1684	766	—
31	Z. K.	Wentylacja *Ventilation* l/min	6.37	27.0	34.3	32.2	36.9	33.1	—	30.4	11.6	—
		Rytm oddechowy *Atemfrequenz*	15	24	20	20	29	20	—	20	20	—
		Objętość oddech. *Atemtiefe* ccm	425	1128	1716	1608	1845	1643	—	1519	581	—
33	G. B.	Wentylacja *Ventilation* l/min	6.60	25.7	27.7	29.3	—	—	28.0	19.7	11.0	7.55
		Rytm oddechowy *Atemfrequenz*	18	22	19	20	—	—	21	18	17	—
		Objętość oddech. *Atemtiefe* ccm	366	1166	1509	1461	—	—	1331	1095	647	—

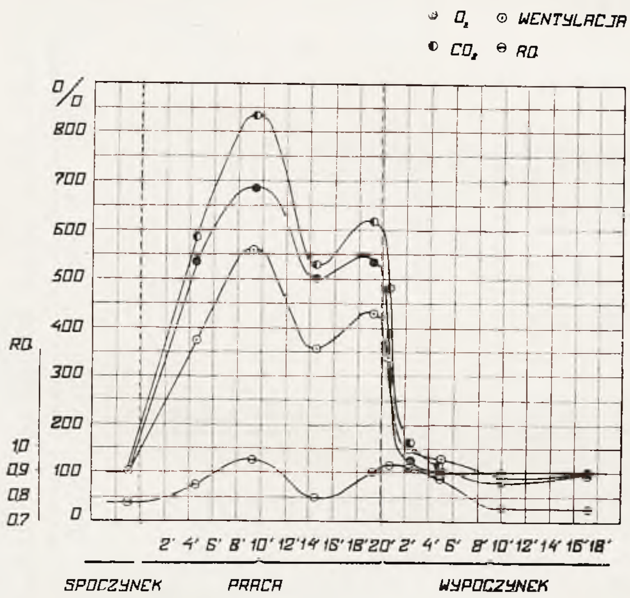
TAB. II.

Zmiany wentylacji, rytmu oddech. i obj. oddech. pod wpływem wiosłowania na kajaku w tempie turystycznem.

Ventilation, Atemfrequenz und Atemtiefe beim Rudern auf einem Kajak. (turist. Tempo).

Nr. dośw. *Nr. d. Exper.*	Osobnik *Vers. pers.*	Badanie — *Untersuch.*		Spoczynek *Ruhe*	Praca — *Arbeit*						Wypoczynek — *Erholung.*		
					2′	4′	6′	8′	10′	12′	1′	3′	7′
11	Z. N.	Wentylacja *Ventilation*	l/min	7.48	—	48.8	44.5	45.4	41.5	—	29.7	15.8	7.44
		Rytm oddechowy *Atemfrequenz*		13	—	22	22	26	26	—	15	13	13
		Objętość oddech. *Atemtiefe*	ccm	567	—	2217	2020	1745	1710	—	1979	1214	572
19	K. M.	Wentylacja *Ventilation*	l/min	8.03	18.2	23.0	25.5	—	24.7	25.6	11.3	—	8.19
		Rytm oddechowy *Atemfrequenz*		15	17	22	19	—	24	26	12	—	9
		Objętość oddech. *Atemtiefe*	ccm	537	1070	1106	1340	—	1027	983	857	—	901
21	M. B.	Wentylacja *Ventilation*	l/min	6.45	23.4	27.0	28.1	26.6	33.2	—	20.3	9.3	9.1
		Rytm oddechowy *Atemfrequenz*		22	31	28	31	30	31	—	22	22	20
		Objętość oddech. *Atemtiefe*	ccm	293	754	965	906	885	1037	—	923	403	455
29	T. B.	Wentylacja *Ventilation*	l/min	8.19	22.4	28.4	28.4	26.2	—	—	13.2	9.6	8.70
		Rytm oddechowy *Atemfrequenz*		14	18	17	18	22	—	—	10	9	10
		Objętość oddech. *Atemtiefe*	ccm	585	1244	1669	1582	1178	—	—	1320	1060	870
32	Z. K.	Wentylacja *Ventilation*	l/min	6.18	20.5	39.0	32.9	35.9	37.2	—	22.9	10.3	9.27
		Rytm oddechowy *Atemfrequenz*		16	22	29	28	25	29	—	21	18	16
		Objętość oddech. *Atemtiefe*	ccm	386	1387	1344	1174	1433	1282	—	1089	570	580
34	G. B.	Wentylacja *Ventilation*	l/min	6.07	33.0	35.5	38.0	31.9	—	—	20.1	13.2	9.37
		Rytm oddechowy *Atemfrequenz*		20	26	30	34	26	—	—	20	17	—
		Objętość oddech. *Atemtiefe*	ccm	304	1264	1185	1118	1226	—	—	1005	779	—

lecz także i zmian szybkości wiosłowania. Pomimo bowiem, iż starano się o zachowanie jednostajnego tempa wiosłowania, to jednak, zwłaszcza u wioślarzy słabiej wytrenowanych, różnica w szybkości wiosłowania w czasie trwania jednego doświadczenia dochodziła do 27" na 100 m, przeciętnie jednak była znacznie mniejsza i wynosiła dla łodzi 11", dla kajaku 8".



Rys. 2. Wymiana oddechowa podczas wiosłowania na dwójce na trasie 2000 m. (Osobnik J. C., Dośw. Nr. 42).

Fig. 2. Gasstoffwechsel beim Rudern auf Zweier. (Strecke 2000 m., Exper. 42).

W doświadczeniach nad wiosłowaniem na trasie 2000 m w tempie turystycznem (Serja III) krzywa wentylacji ma przebieg podobny jak w serji I, zachowując stały poziom w okresie pracy. (Tab. III). Najmniejsze wahania występują podczas wiosłowania na kajaku. (Rys. 2—4). Należy przytem zaznaczyć, że pierwsza próbka powietrza wydechowego była pobierana w doświadczeniach tej serji w 5 min. pracy, a więc prawdopodobnie już po zakończeniu okresu początkowego pracy, w którym zarówno wydalanie CO_2, zużycie O_2 jak i wentylacja obniżają się do poziomu, charakterystycznego dla okresu głównego pracy. *(Perlberg, Szwejkowska)*. W doświadczeniach II serji, trwających 4—5 min. nie stwierdzamy stałego poziomu wentylacji (Tab. IV). Zarówno podczas wiosłowania na kajaku jak i na

TAB. III.

Zmiany wentylacji, objętości oddechowej i rytmu oddechowego podczas wiosłowania na dwójce i kajaku w tempie szybkiem.

Ventilation, Atemtiefe und Atemfrequenz beim Rudern auf einem „Zweier" und Kajak (Schnelles Tempo, 500 m).

Typ łodzi *Art. d. Bootes*	Nr. dośw. *Nr. d. Exper.*	Osobnik *Vers. pers.*	Badanie — *Untersuch.*	Spoczynek *Ruhe*	Praca — *Arbeit*					Wypoczynek — *Erholung*		
					1'	2'	3'	4'	5'	1'	3'	5'
Dwójka — *Zweier*	12	Z. N.	Wentylacja — *Ventilation* l/min	7.18	40.0	67.5	75.0	67.9	—	61.2	41.5	20.2
			Rytm oddechowy — *Atemfrequenz*	14	32	32	32	—	—	26	21	16
			Objętość oddech. — *Atemtiefe* ccm	509	1250	2109	2344	—	—	2353	1977	1283
	16	Z. R.	Wentylacja — *Ventilation* l/min	9.09	35.0	60.0	—	98.1	—	53.9	23.9	13.1
			Rytm oddechowy — *Atemfrequenz*	20	24	26	—	26	—	24	17	20
			Objętość oddech. — *Atemtiefe* ccm	455	1450	2307	—	3092	—	2244	1407	655
	22	M. B.	Wentylacja — *Ventilation* l/min	6.86	17.9	27.5	—	40.7	40.6	41.2	18.6	9.24
			Rytm oddechowy — *Atemfrequenz*	19	19	19	—	32	25	26	24	20
			Objętość oddech. — *Atemtiefe* ccm	361	944	1447	—	1283	1922	1585	774	462
	26	J. G.	Wentylacja — *Ventilation* l/min	8.25	29.2	42.1	—	54.0	49.3	37.6	17.4	10.4
			Rytm oddechowy — *Atemfrequenz*	17	—	35	—	45	54	32	—	—
			Objętość oddech. — *Atemtiefe* ccm	485	—	1202	—	1200	913	1176	—	—
Kajak	13	Z. N.	Wentylacja — *Ventilation* l/min	6.00	27.7	7.21	81.3	77.0	—	64.4	29.8	15.6
			Rytm oddechowy — *Atemfrequenz*	11	32	36	36	36	—	27	22	16
			Objętość oddech. — *Atemtiefe* ccm	545	865	2003	2259	2139	—	2381	1353	909
	27	J. G.	Wentylacja — *Ventilation* l/min	7.03	30.0	54.9	60.0	60 0	53.5	30.3	16.7	8.66
			Rytm oddechowy — *Atemfrequenz*	22	—	58	58	60	60	40	28	24
			Objętość oddech. — *Atemtiefe* ccm	319	—	1034	1034	1000	892	757	596	361
	17	Z. R.	Wentylacja — *Ventilation* l/min	8.58	42.5	71.0	—	—	59.5	48.8	22.9	12.3
	23	M. B.	Wentylacja — *Ventilation* l/min	8.38	35.1	54.3	—	—	82.9	30.9	16.5	8.2
	30	T. B.	Wentylacja — *Ventilation* l/min	8.59	41.2	58.6	—	41.2	—	28.3	20.0	10.5
			Rytm oddechowy — *Atemfrequenz*	11	22	25	—	32	—	14	14	13
			Objętość oddech. — *Atemtiefe* ccm	773	1872	2342	—	1388	—	304	1430	808

TAB. IV.

Wymiana oddechowa podczas wiosłowania na trasie 2000 m, w tempie turystycznem na dwójce, krypie i kajaku. (Osobnik S. K.).

Gasstoffwechsel beim Rudern auf Zweier, auf dem Boote und Kajak. (2000 m. Vers. pers. S. K.).

	Typ łodzi *Art d. Bootes*	Dwójka — *Zweier* (117 m/min)					Krypa — *Fischerboot* (100 m/min)					Kajak (97 m/min)				
	Stan organ. *Zustand*	Wentyl. *Ventil.* l/min	L. oddech. *Atemfrequenz*	Obj. oddechowa *Atemtiefe* ccm	Zużycie O_2 *Verbrauch* ccm/min	RQ	Wentyl. *Ventil.* l/min	L. oddech. *Atemfrequenz*	Obj. oddechowa *Atemtiefe* ccm	Zużycie O_2 *Verbrauch* ccm/min	RQ	Wentyl. *Ventil.* l/min	L. oddech. *Atemfrequenz*	Obj. oddechowa *Atemtiefe* ccm	Zużycie O_2 *Verbrauch* ccm/min	RQ
	Spoczynek *Ruhe*	10.4	19	600	410	0.84	9.5	17	560	340	0.92	10.5	26	403	405	0.94
Praca — *Arbeit*	5′	38.2	25	1528	2219	0.90	33.9	30	1131	1761	0.90	44.9	32	1404	1966	1.02
	9′	39.4	28	1406	2221	0.88	35.8	32	1120	1856	0.76	36.9	34	1085	1623	0.93
	15′	41.8	32	1306	2169	1.00	32.3	28	1153	1391	0.98	36.5	32	1154	2071	0.75
	17′	39.7	30	1322	1967	0.91	—	—	—	—	—	38.0	—	—	1888	0.92
	20′ (21′)	—	—	—	—	—	30.0	16	1878	1649	0.89	33.2	28	1195	1473	0.87
Wypocz.—*Erholung*	1′	25.5	19	1342	1352	0.96	19.8	20	989	1042	0.87	17.8	—	—	672	1.19
	3′	13 4	17	788	488	0 92	9.7	17	569	296	0.97	14.8	18	824	—	—
	6′	8.5	18	472	333	0.87	8.3	17	487	296	0.96	11.0	18	612	436	0.82
	12′	7.3	15	487	287	0.92	5.8	15	398	320	0.93	7.8	22	354	311	0.70

dwójce w pierwszych trzech minutach pracy wentylacja stale się zwiększa, w 4—5 min zaś występują różnice indywidualne, u jednych osobników wentylacja ulega dalszemu zwiększeniu, u innych obniżeniu. Ze względu na małą liczbę doświadczeń trudno jest uchwycić przyczynę odmiennej reakcji u poszczególnych badanych. Możliwe, iż stan wytrenowania łączy się z tendencją do osiągania stałego poziomu wentylacji w krótszym czasie, aniżeli to występuje u osobników, będących w gorszym stanie zaprawy. Brak jednakże dobrych wioślarzy w naszych doświadczeniach nie pozwala na sprawdzenie tego przypuszczenia.

Jak zaznaczono powyżej wiosłowanie na dwójce w tempie wolnem wywołuje większy wzrost wentylacji od wiosłowania na kajaku. Przy tempie zaś szybkiem zachodzi zależność przeciwna. Wentylacja podczas wiosłowania na kajaku dochodzi do większych wartości, aniżeli podczas wiosłowania na dwójce. U osobnika Z. N., dobrego wioślarza, podczas wiosłowania na kajaku w tempie szybkiem wentylacja doszła do 81.3 l/min, co stanowi 1356% wartości spoczynkowej, na dwójce zaś do 75.0 l/min (1044% wartości spoczynkowej, szybkość wiosłowania była nieco mniejsza nawet podczas wiosłowania na kajaku, o 3" na 100 m). Podobne zjawisko obserwujemy i u innych badanych za wyjątkiem osobnika Z. R., u którego maksymalna wartość wentylacji 98.1 l/min występuje podczas wiosłowania na dwójce. Większe tempo wiosłowania na dwójce niż na kajaku o (10"/100) m nie pozwala jednak na uwzględnienie tego doświadczenia.

Znaczny wzrost wentylacji, występujący podczas wiosłowania, zachodzi kosztem pogłębienia i przyśpieszenia oddechów. Rytm oddechowy, jak wiadomo z bardzo licznych prac jest w znacznym stopniu zależny od tempa pracy, w danym przypadku od liczby uderzeń wioseł. *(Altrock, Knoll, Kleinknecht, Rahn, Preisler)*. Sama technika wiosłowania na dwójce wymaga skoordynowania ruchów oddechowych z pociągnięciami wioseł, na kajaku współzależność ta zakłócona jest, podobnie jak i rytm pracy, koniecznością kierowania łodzią przy pomocy wioseł, co pociąga za sobą dodatkowe ruchy wiosłem i przez to uniemożliwia zachowanie pewnej stałej korelacji między rytmem pracy i oddechu.

Z Tab. I — III, w których podano wartości rytmu oddechowego w czasie wiosłowania wynika, że w czasie omawianej

pracy oddech przyśpiesza się, osiągając również stały poziom w mniej więcej tej samej minucie pracy co i wentylacja; podobny przebieg ma i krzywa objętości oddechów. W przeważającej liczbie przypadków rytm oddechowy waha się od 130 — 170% wartości spoczynkowej. Wentylacja wzrasta zaś, jak zaznaczono powyżej, do 700% wartości spoczynkowej, powiększenie jej jest więc wywołane głównie pogłębieniem oddechów, objętość których dochodzi maksymalnie do 2620 cm^3, osiągając wartości czterokrotnie większe od spoczynkowych. Objętość oddechowa podczas wiosłowania na dwójce dochodzi do wyższych wartości niż u tych samych osobników podczas wiosłowania na kajaku.

Podczas wiosłowania w tempie szybkiem zaznacza się pewna różnica pomiędzy przyśpieszeniem oddechów u osób słabiej i lepiej wytrenowanych. U osobników wyćwiczonych rytm oddechowy jest podczas pracy wielkością stałą i wentylacja zwiększa się głównie kosztem pogłębienia oddechów (Z. N., Z. R.) u osób niewyćwiczonych tempo szybkie wpływa na ciągłe przyśpieszanie oddechów, głębokość oddechów nie osiąga więc wartości tak dużych jak u osobników, będących w lepszej formie. Zbyt mała ilość doświadczeń przeprowadzonych w tempie szybkiem jak również brak dobrych wioślarzy nie pozwala na dokładniejsze omówienie powyższego wyniku.

Z prac *Hendersona* i *Haggarda, Liljestranda* i *Lindharda, Wohlfeila* i innych wiadomo, że zużycie tlenu podczas wiosłowania wzrasta proporcjonalnie do szybkości wiosłowania. Dla zobrazowania wpływu na wymianę oddechową wiosłowania w różnej szybkości na różnych typach łodzi zestawiono Tab. V—VII, w których podano zużycie O_2, wydalanie CO_2 i iloraz oddechowy podczas pracy i wypoczynku. Doświadczenia serji III (Tab. IV i wykres 2—4) mogą służyć jako przykład pracy o charakterze wysiłku trwałego. Czas wiosłowania wahał się od 16'55'' do 23', przy średniej szybkości wiosłowania 100 m/min. W omawianych doświadczeniach zużycie O_2, wydalanie CO_2, podobnie jak i wentylacja zachowują stały poziom, ulegający niewielkim wahaniom. (Rys. 2—4). Zarówno zużycie O_2, jak i wydalanie CO_2 są zależne od typu łodzi, na której badany wiosłował. Maksymalne wartości natężenia wymiany gazowej występują podczas wiosłowania na dwójce i krypie, mniejsze zaś na kajaku. U osobnika J. C. zużycie O_2 podczas wiosłowania na dwójce dochodzi

TAB. V.

Zużycie tlenu, wydalanie CO_2 i RQ w czasie wiosłowania na 1000 m. na dwójce w tempie turystycznem.

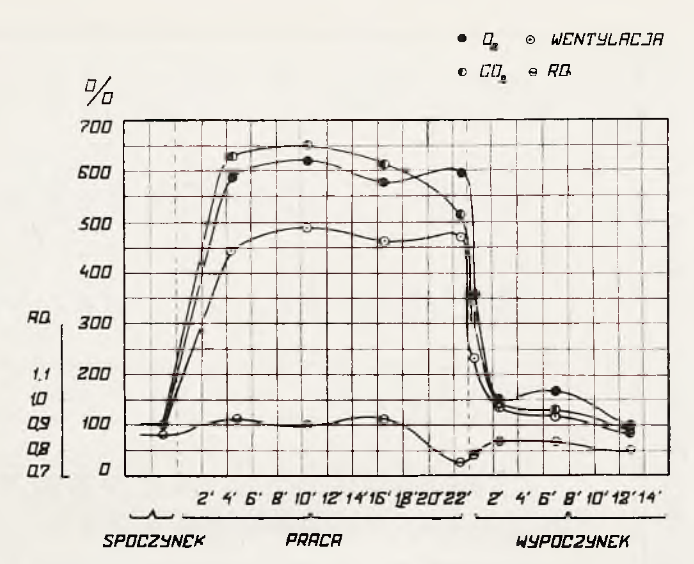
O_2 — Verbrauch, CO_2 — Ausscheidung, und RQ beim Rudern auf einem Zweier (1000 m. turist. Tempo).

Nr. dośw. *Nr. d. Exper*	Osobnik *Vers. pers*		Spoczynek *Ruhe*	Praca — *Arbeit* 2'	4'	6'	8'	10'	12'	Wypoczynek — *Erholung* 1'	3'	8'—10'
10	Z. N.	O_2 cm³/min	346	2534	2200	3054	2714	2692	—	1849	613	457
		CO_2 cm³/min	290	1798	2144	3017	2475	2649	—	1797	670	488
		RQ	0.84	0.71	0.98	0.99	0.91	0.98	—	0.97	1.09	1.07
18	K. M.	O_2 cm³/min	422	1739	1744	2065	2171	1851	—	1083	474	—
		CO_2 cm³/min	312	1075	1208	1501	1689	1490	—	823	374	—
		RQ	0.74	0.69	0.70	0.73	0.78	0.81	—	0.76	0.79	—
20	M. B.	O_2 cm³/min	319	1723	1681	1614	1750	—	1383	991	420	358
		CO_2 cm³/min	353	1422	1558	1472	1557	—	1248	883	395	336
		RQ	0.96	0.83	0.93	0.91	0.89	—	0.90	0.89	0.94	0.94
28	T. B.	O_2 cm³/min	362	1743	2522	2176	1921	2148	—	1460	415	350
		CO_2 cm³/min	258	1265	1999	1850	1624	1767	—	1185	415	290
		RQ	0.71	0.73	0.79	0.85	0.85	0.82	—	0.81	1.00	0.83
31	Z. K.	O_2 cm³/min	279	1706	1905	1914	2034	1832	—	1307	330	—
		CO_2 cm³/min	208	1196	1644	1528	1709	1554	—	1210	315	—
		RQ	0.75	0.70	0.86	0.81	0.84	0.85	—	0.93	0.96	—
33	G. B.	O_2 cm³/min	296	1744	1703	—	1653	—	1556	1137	387	311
		CO_2 cm³/min	212	1193	1399	—	1363	—	1264	909	347	254
		RQ	0 72	0.68	0.82	—	0.83	—	0.81	0.80	0.90	0.82

TAB. VI.

Zużycie O_2, wydalenie CO_2 i RQ podczas wiosłowania na 1000 m. na kajaku w tempie turystycznem.
O_2 — Verbrauch, CO_2 — Ausscheidung und RQ beim Rudern auf einem Kajak (1000 m. turist. Tempo).

Nr. dośw. *Nr. des Exper.*	Osobnik *Vers. pers.*		Spoczynek *Ruhe*	Praca — *Arbeit* 2′	4′	6′	8′	10′	12′	Wypoczynek — *Erholung* 1′	3′	7′—10′
11	Z. N.	O_2 cm³/min	307	—	2176	1895	1887	1837	—	1252	464	202
		CO_2 cm³/min	255	—	2059	1872	1819	1712	—	1210	494	269
		RQ	0.83	—	0.95	0.99	0.96	0.93	—	0.97	1.07	0.75
19	K. M.	O_2 cm³/min	291	1073	1215	1197	1159	—	1066	508	—	333
		CO_2 cm³/min	279	791	1085	1067	991	—	974	396	—	241
		RQ	0.96	0.74	0.89	0.89	0.96	—	0.91	0.78	—	0.72
21	M. B.	O_2 cm³/min	281	1156	1256	1266	1219	1555	—	986	335	—
		CO_2 cm³/min	231	916	1091	1059	1025	1293	—	799	286	—
		RQ	0.76	0.79	0.87	0.83	0.84	0.83	—	0.81	0.85	—
29	T. B.	O_2 cm³/min	360	1057	1416	1290	1280	1310	—	619	385	393
		CO_2 cm³/min	319	838	1249	1156	1045	1151	—	504	333	289
		RQ	0.89	0.79	0.88	0.90	0.82	0.88	—	0.81	0.87	0.74
32	Z. K.	O_2 cm³/min	271	1517	1668	1436	1659	1565	—	951	300	302
		CO_2 cm³/min	214	1303	1633	1298	1455	1431	—	800	257	224
		RQ	0.79	0.86	0.98	0.90	0.88	0.91	—	0.84	0.86	0.74
34	G. B.	O_2 cm³/min	256	1150	1674	1677	1626	1323	—	610	617	328
		CO_2 cm³/min	196	1374	1539	1616	1595	1193	—	641	527	291
		RQ	0.76	1.09	0.92	0.96	0.95	0.90	—	1.05	0.90	0.89



Rys. 3. Wymiana oddechowa podczas wiosłowania na krypie na trasie 2000 m. (Osobn. J. C., Dośw. 41).

Fig. 3. Gasstoffwechsel beim Rudern auf einem Kahn. (Strecke 2000 m., Exper. 41).

do 692% wartości spoczynkowej, na krypie zaś do 623%, na kajaku zaś tylko do 294%. U drugiego badanego bardziej sprawnego, lepszego wioślarza występują mniejsze różnice. Zużycie O_2 podczas wiosłowania na dwójce wzrasta do 542%, na krypie wzrost jest prawie ten sam przy nieco mniejszej szybkości wiosłowania (546%, szybkość o 8 m/min mniejsza), na kajaku zużycie O_2 dochodzi do 511%. Duże zużycie O_2 podczas wiosłowania na kajaku zostało wywołane ciężkiemi warunkami atmosferycznemi, w których omawiane doświadczenie zostało przeprowadzone: silnym wiatrem o kierunku przeciwnym do posuwania się łodzi i falą boczną, utrudniającą w znacznym stopniu pracę wioślarza. Podczas wiosłowania na krótszej trasie (1 km) stwierdzono podobny wzrost zużycia O_2. Przeciętna maksymalnych wartości zużycia O_2 podczas wiosłowania na dwójce wynosi 635% wartości spoczynkowej, na kajaku zaś 538%.

Z porównania tych dwóch seryj doświadczeń, przeprowadzonych na trasie 1 km i 2 km możemy stwierdzić, że wiosłowanie z przeciętną szybkością 100 m/min wywołuje zbliżony wzrost zużycia O_2, niezależnie od czasu trwania pracy. Wiosłowanie w tempie turystycznem jest więc wysiłkiem, wykonywanym

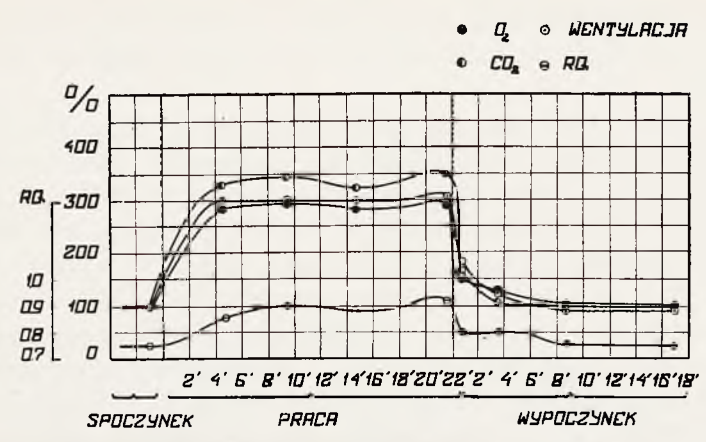
przez ustrój w stanie steady state w warunkach równowagi funkcjonalnej: aktualne zużycie O_2 pokrywa jego zapotrzebowanie.

Przy zwiększeniu szybkości wiosłowania występuje znaczny wzrost zużycia tlenu, dochodzący nawet do 3936 cm^3/min. (dośw. N. 12). Przy tej szybkości również zużycie tlenu jest większe podczas wiosłowania na dwójce niż na kajaku. W tej serji doświadczeń (Tab. VII) zarówno zużycie O_2, jak i wydalanie CO_2 nie zatrzymuje się na stałym poziomie, jak to zachodzi podczas wiosłowania powolniejszego, trwającego dłuższy okres czasu, lecz w przeważającej liczbie przypadków wzrasta osiągając w naszych doświadczeniach maximum w końcu pracy. Czas trwania wiosłowania w tych doświadczeniach nie przekraczał 6' (przeciętnie zaś wynosił 4'40"); możliwe, iż jest to zbyt krótki okres czasu dla dojścia ustroju do stanu steady state. Sądząc jednak po wielkości zużycia tlenu, które w omawianych doświadczeniach dochodzi do 1171% wartości spoczynkowej, wiosłowanie w tempie szybkiem należy do wysiłków o bardzo dużem natężeniu, podczas których, jak wiadomo z prac *Herxheimera* i *Christensena* i innych, może nie występować stan równowagi funkcjonalnej. Punktu martwego i następującego po nim „second wind" (oddychanie wtórne), które, według *Ewiga*, występują podczas tego rodzaju wysiłków, w naszych badaniach nie mogliśmy stwierdzić. Możliwe, iż przyczyny tego należałoby się doszukiwać po pierwsze w zbyt krótkim czasie trwania pracy, która została przerwana jeszcze przed wystąpieniem punktu martwego, po drugie zaś — w za słabej formie wioślarzy do zastosowanego tempa pracy.

Dla porównania zużycia O_2 podczas wiosłowania na kajaku i dwójce obliczono zużycie O_2 na 1 m drogi i kg wagi badanego:

Szybkość wiosłowania m/min	Dwójka			
	O_2 ccm/m drogi		O_2 ccm/m/kg	
	przec.	min-maks.	przec.	min-maks.
83—100	13.0	12.1—15.3	0.20	0.18—0.24
100—141	18.5	16.2—22.8	0.25	0.23—0.28

Szybkość wiosłowania m/min	Kajak			
	O_2 ccm/m		O_2 ccm|m|kg	
	przec.	min.-maks.	przec.	min.-maks.
83—100	6.8	5.6—7.8	0.14	0.12—0.18
100—141	8.3	7.9—9.8	0.19	0.16—0.22



Rys. 4. Wymiana oddechowa podczas wiosłowania na kajaku na trasie 2000 m. (Osobn. J. C., Dośw. 40).

Fig. 4. Gastoffwechsel beim Rudern auf einem Kajak. (Strecke 2000 m., Exper. 40).

Z powyższego zestawienia możemy stwierdzić, że podczas wiosłowania na dwójce, ustrój zużywa więcej tlenu, niż podczas wiosłowania na kajaku. Duża rozpiętość wielkości zużycia tlenu, nawet w obliczeniu na kg wagi, pochodzi prawdopodobnie z różnego stopnia wytrenowania badanych i wynikającej stąd bardziej lub mniej ekonomicznej pracy. Wyniki naszych doświadczeń pokrywają się z danemi, otrzymanemi przez *Ewiga*, dla wiosłowania ze zbliżoną szybkością. Według danych tego autora wzrost zużycia tlenu podczas wiosłowania na łodzi rasowej dochodzi do 700% wartości spoczynkowej, a więc nieznaczna różnica z naszemi wynikami może pochodzić z odmiennej nieco łodzi, innych warunków atmosferycznych, w których doświadczenia były przeprowadzane, a które w znacznym stopniu wpływają na zmiany zużycia tlenu, jak również własności indywidualnych badanych: ich stopnia sprawności. Porównywując zużycie tlenu na m drogi i kg wagi podczas wiosłowania z odpowiedniemi danemi podczas innych wysiłków fizycznych, możemy stwierdzić, że wydatek energetyczny przy wiosłowaniu na dwójce w tempie turystycznem odpowiada mniej więcej takiemu wydatkowi energetycznemu, co jazda na nartach na tej samej odległości. (*Liljestrand* i *Stenström* 0.16 — 0.2 cm^3/m/kg), na kajaku zaś co szybkie chodzenie (*Liljestrand* i *Stenström* 0.15 — 0.17 cm^3/m/kg).

Wykorzystanie tlenu z powietrza, przepływającego przez płuca, określające efektywność wentylacji, zmienia się podczas wiosłowania w porównaniu ze spoczynkiem podobnie jak i podczas innych wysiłków fizycznych: podczas wiosłowania w tempie umiarkowanem wzrasta, podczas wiosłowania w tempie szybkiem — w niektórych przypadkach maleje. Lepsze wykorzystanie tlenu (O_2 cm³/went.) zachodzi podczas wiosłowania na dwójce, niż na kajaku: wyraźnie różnica ta występuje podczas wiosłowania w tempie szybkiem, przy którem stopień wykorzystania O_2 spada poniżej wartości spoczynkowej, jak to wynika z poniższej tabeli.

	Przeciętne O_2cm³|1 l wentylacji					w % wart. spoczynk.		
	Tempo turystyczne					Tempo szybkie		
Min. wiosłowania	2′	4′	6′	8′	10′	1′	2′	4′—5′
Dwójka . .	154	134	131	129	125	137	116	110
Kajak . . .	118	112	108	102	108	113	90	83

Lepsze wykorzystanie O_2 podczas pracy szybkiej na dwójce niż na kajaku trzeba przypisać korzystniejszemu wpływowi mechaniki pracy na układ krążenia i większemu aktualnemu zapotrzebowaniu na tlen, wskutek pracy liczniejszych grup mięśniowych. Wzmożone pod wpływem pracy mięśniowej krążenie znajduje tu korzystniejsze warunki, spowodowane dynamiczną pracą kończyn dolnych, a więc współdziałaniem pompy mięśniowej: rytmiczna praca powoduje żywszy odpływ krwi żylnej do serca, przedewszystkiem z dużego rezerwuaru kończyn dolnych. Powrót zaś uboższej w tlen krwi żylnej (znaczna oksydacja w intensywnie pracujących mięśniach kończyn dolnych — w przeciwieństwie do pracy na kajaku) do serca i żywszy jej obieg przez płuca, tłumaczą w dużej mierze większą efektywność wentylacji podczas pracy na dwójce.

O zmianach wydalania CO_2 podczas wiosłowania w porównaniu ze zużyciem tlenu najłatwiej można sądzić po zmianach ilorazu oddechowego.

Podczas wiosłowania na dwójce w tempie turystycznem RQ w 2' pracy spada w porównaniu z normą spoczynkową, następnie w 4 — 6' wzrasta, osiągając wartości, przekraczające iloraz oddechowy w spoczynku. W dalszym zaś ciągu pracy ulega już nieznacznym wahaniom — jak podczas każdej pracy, wykonywanej w stanie steady state. Podczas wiosłowania na kajaku nie obserwujemy (w przeważającej liczbie przypadków)

TAB. VII.

Zużycie O_2, wydalanie CO_2 i RQ podczas wiosłowania w tempie szybkiem (500 m) na dwójce i kajaku.

O_2—Verbrauch, CO_2—Ausscheidung und RQ beim Rudern auf einem Zweier und Kajak. (500, m schnelles Tempo).

Typ łodzi *Art. d. Bootes*	Nr. dośw. (Osobnik) *Nr. des Exper. (Vers. pers.)*		Spoczynek *Ruhe*	Praca — *Arbeit*					Wypoczynek — *Erholung*			
				1′	2′	3′	4′	5′	1′	3′	7′	10′—11′
Dwójka — *Zweier*	12 (Z. N.)	O_2 cm³/min	301	2000	2925	3500	3936	—	2166	963	570	—
		CO_2 cm³/min	240	1500	3075	3000	2212	—	2723	1465	570	—
		RQ	0.80	0.75	1.05	0.85	0.75	—	1.12	1.52	1.00	—
	16 (Z. R.)	O_2 cm³/min	377	1750	2675	3200	3777	—	1922	610	461	—
		CO_2 cm³/min	291	1500	2500	3100	3787	—	2159	753	376	—
		RQ	0.77	0.85	0.93	0.97	1.00	—	1.12	1.23	0.82	—
	23 (M. B.)	O_2 cm³/min	276	1134	1645	1973	—	2219	1662	592	323	309
		CO_2 cm³/min	230	794	1279	2030	—	1963	1798	617	346	298
		RQ	0.83	0.70	0.78	1.03	—	0.88	1.08	1.04	1.04	0.96
Kajak	13 (Z. N.)	O_2 cm³/min	238	1241	2500	2750	2786	—	1873	714	473	403
		CO_2 cm³/min	180	1038	3000	3275	3166	—	2394	886	464	361
		RQ	0.76	0 84	1.20	1.19	1.36	—	1.28	1.24	0.98	0.89
	17 (Z. R.)	O_2 cm³/min	309	1375	2122	—	1875	1733	1440	525	380	394
		CO_2 cm³/min	240	1500	2629	—	2090	1898	1586	548	298	266
		RQ	0.78	1.09	1.24	—	1.11	1.10	1.10	1.04	0.79	0.68
	24 (M. B.)	O_2 cm³/min	323	1619	1383	2054	—	—	1020	322	289	—
		CO_2 cm³/min	262	1376	1480	2218	—	—	1174	421	191	—
		RQ	0.81	0.85	1.07	1.08	—	—	1.15	1.07	0.66	—

początkowego spadku RQ, możliwe, iż przyczyną tego odmiennego zachowania się ilorazu oddechowego podczas wiosłowania na dwóch omawianych typach łodzi jest przewagą momentów pracy statycznej podczas wiosłowania na kajaku w porównaniu z wiosłowaniem na dwójce, występująca już na samym początku pracy. Maksymalne wartości RQ przypadają zarówno podczas wiosłowania na kajaku, jak i na dwójce, nie na okres pracy lecz wypoczynku, w początkowym jego okresie. W kilku przypadkach podczas wiosłowania w tempie turystycznem iloraz oddechowy wzrasta powyżej 1.0.

Wiosłowanie w tempie szybkiem (Tab. VII) wpływa, podobnie jak każda praca wyczerpująca, na bardzo wyraźny wzrost ilorazu oddechowego, przekraczający 1.0. Porównywując zmiany ilorazu oddechowego u tych samych osobników podczas wiosłowania na kajaku i dwójce, możemy stwierdzić, że wiosłowanie na kajaku powoduje większy wzrost ilorazu oddechowego, niż praca na dwójce. Np. u osobników Z. N. maximum RQ podczas wiosłowania na dwójce wynosi 1.05, na kajaku zaś 1.36, u Z. R. odpowiednie wartości wynoszą 1.00 i 1.24. Ten znaczny wzrost RQ podczas wiosłowania na kajaku wiąże się z występowaniem wielu momentów pracy statycznej podczas wiosłowania na kajaku w tempie szybkiem; praca zaś statyczna, jak wiadomo *(Lindhard, De Barenne, Niemierko)* wpływa na znaczniejsze niż praca dynamiczna, podwyższenie ilorazu oddechowego.

Okres wypoczynku po wiosłowaniu nie różni się od wypoczynku po pracy o podobnem natężeniu, przyczem typ łodzi nie wywiera żadnego charakterystycznego wpływu na zmiany zjawisk oddechowych,

KOSZT ENERGETYCZNY WIOSŁOWANIA.

Dla porównania kosztu fizjologicznego pracy podczas wiosłowania na kajaku i dwójce zestawiono tabele VIII — X, w których podano nadwyżkę zużycia tlenu (w l), przypadającą na okres pracy i wypoczynku oraz wartości długu tlenowego. W zestawieniach wymienionych tabel uwzględniono jedynie te doświadczenia, w których zużycie tlenu w okresie wypoczynku osiągnęło wartości zbliżone do spoczynkowych.

TAB. VIII.

Koszt energetyczny (w l zużycia O_2) wiosłowania na dwójce i kajaku w tempie wolnem.

Der Energieaufwand (in l O_2—Verbrauchs) beim Rudern auf „Zweier" und Kajak (Langsames Tempo).

Typ łodzi *Art d. Bootes*		Dwójka *Zweier*					Kajak				
Osobnik *Vers. person.*	Trasa m *Strecke*	Nr. dośw. *No. d. Exper.*	Czas pracy *Arbeitsdauer* min.	Koszt pracy *Energieaufwand* l O_2	Dług. tlenowy *O_2—Schuld* l O_2	% całk. nadw. O_2 *% d. tot. Energieaufwandes*	Nr. dośw. *No. d. Exper.*	Czas pracy *Arbeitsdauer* min.	Koszt pracy *Energieaufwand* l O_2	Dług. tlenowy *O_2—Schuld* l O_2	% całk. nadw. O_2 *% d. tot. Energieaufwandes*
Z. N.	1000	10	9'44"	22.73	3.17	14.0	11	9'15"	15.11	1.74	11.5
Z. R.	1000	—	—	—	—	—	15	12'45"	14.99	2.01	13.4
T. W.	1000	7	9'41"	18.34	1.92	10.5	—	—	—	—	—
K. M.*	1100	18	11'08"	16.58	1.15	6.9	19	12'15"	10.52	0.77	7.3
M. B.*	1100	20	11'40"	16.14	1.46	9.0	21	9'53"	10.71	1.23	12.0
T. B.	1000	28	10'25"	18.42	1.81	9.8	29	9'09"	11.45	0.43	3.3
Z. K.	1000	—	—	—	—	—	32	9'20"	11.24	0.86	7.0
G. B.	1000	33	11'58"	18.35	1.62	7.7	34	10'03"	13.76	2.15	15.7
J. G.	1000	24	9'55"	15.69	2.38	15.1	—	—	—	—	—
przeciętn. *Mitt. wert*	1000	—	10'19"	18.03	2.18	10.9	—	10'08"	12.66	1.60	10.2

*) W przeciętnych nie uwzględniono dośw. Nr. 18, 19, 20, 21.

Koszt fizjologiczny pracy przy wiosłowaniu w omawianych doświadczeniach nie odpowiada całkowicie normalnym warunkom pracy wioślarza ze względu na to, iż łódź względnie kajak, przeznaczone dla dwóch osób, w badaniach niniejszych były poruszane tylko przez jedną. Wobec powyższego dane kosztu fizjologicznego pracy wioślarza mają jedynie wartość orjentacyjną, która przy normalnej osadzie wypadłaby prawdopodobnie niższa od naszych.

Dla porównania zaś kosztu fizjologicznego pracy na dwóch omawianych typach łodzi (serja I i II), możemy dane te z pewnym stopniem prawdopodobieństwa zestawiać, zakładając, że brak drugiego wioślarza odbije się u tego samego osobnika w takim samym stosunku na pracy na kajaku, co i na dwójce.

Nadwyżka całkowita zużycia O_2 podczas wiosłowania na dwójce w tempie turystycznem na trasie 1000 m waha się w naszych doświadczeniach od 15.69 l O_2 do 22.73 l O_2 (wartość

średnia wynosi 18.03 l O_2). Przy pracy na kajaku w bardzo zbliżonem tempie, wolniejszem średnio o 11" na km, odpowiednie wartości wahają się od 11.45 — 15.11 l O_2, średnia zaś wynosi 12.66. Wydatek energetyczny podczas wiosłowania powolnego (turystycznego) jest zatem o 42% większy na dwójce, niż na kajaku.

Interesującem wydawało się zestawienie kosztu pracy przy dwóch omawianych typach łodzi przy zwiększeniu szybkości (II serja, Tab. IX).

TAB. IX.

Koszt energetyczny (w l O_2) wiosłowania na dwójce i kajaku w tempie szybkiem na trasie 500 m.

Der Energieaufwand (in l O_2) beim Rudern auf einem „Zweier" und Kajak in schnellen Tempo.

Typ łodzi *Art. d. Bootes*	Dwójka — *Zweier*					Kajak				
Osobnik *Vers. pers.*	Nr. dośw. *Nr. des Exper.*	Czas pracy *Arbeitsdauer* min	Koszt pracy *D. Energieaufwand* l O_2	Dług tlenowy *O_2 — Schuld* l O_2	% całk. nadw. zużycia O_2 *% d. tot. Energieaufwa des*	Nr. dośw. *Nr. de Exper.*	Czas pracy *Arbeitsdauer* min	Koszt pracy *D. Energieaufwand* l O_2	Dług tlenowy *O_2 — Schuld* l O_2	% całk. nadw. zużycia O_2 *% d. tot. Energieaufwandes*
Z. R.	16	4'06"	13.45	3.79	28.2	17	5'45"	11.83	3.04	25.7
Z. N.	12	3'18"	14.55	5.84	40.2	13	3'44"	13.10	5.32	40.6
M. B.	22	5'04"	10.74	3.45	32.1	23	6'02"	9.79	1.24	12.7
J. G.	26	4'26"	8.11	1.88	23.2	27	4'24"	6.87	1.81	26.3
przec.		4'32"	10.77	3.75	31.1		4'56"	9.98	2.86	26.4

Porównanie otrzymanych danych doświadczalnych utrudniają duże wahania szybkości w poszczególnych doświadczeniach, znacznie większe, niż przy tempie turystycznem. Zjawisko to oczywiście łatwo można wytłumaczyć tem, iż tempo turystyczne było dostępne dla wszystkich badanych, podczas gdy szybkie nie każdy mógł osiągnąć. We wszystkich jednak doświadczeniach, pomimo różnic w szybkości wiosłowania, koszt pracy na dwójce, wyrażony również w l O_2, jest większy, niż na kajaku, jednakże występujące różnice są mniejsze, niż przy tempie turystycznem. Np. u osobnika Z. N. (wytrenowanego, dobrego wioślarza) — koszt pracy na dwójce przy tempie turystycznem jest większy, niż na kajaku o 50% (dośw. Nr. 10, 11),

przy tempie zaś szybkiem tylko o 11% (dośw. 12, 13); średnio zaś dla wszystkich badanych różnica jest jeszcze mniejsza, bo tylko 8%.

Z doświadczeń serji I i II wynika, że wiosłowanie na dwójce połączone jest z większym wydatkiem energetycznym od wiosłowania na kajaku. Przy zwiększeniu szybkości wiosłowania różnica kosztów fizjologicznych pracy jednak maleje.

Dla orjentacyjnego porównania kosztu pracy na omawianych typach łodzi z krypą mogą służyć doświadczenia serji III, przeprowadzone na trasie 2000 m w tempie, zbliżonem do tempa na dystansie 1000 m. (Tab. X).

TAB. X.

Koszt energetyczny (w l O_2) wiosłowania na trasie 2000 m. zależnie od typu łodzi.

Der Energieaufwand (in l O_2) beim Rudern auf 2000 m.

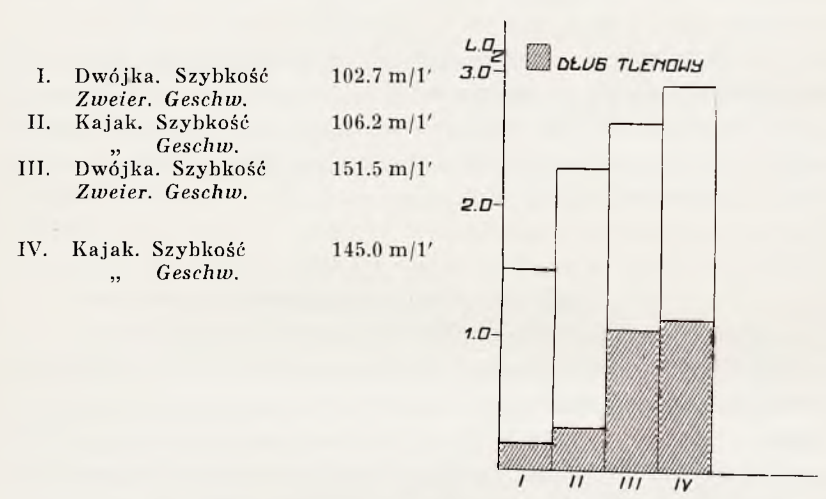
Osobnik *Vers. pers.*	S. K.					J. C.				
Typ łodzi *Art. d. Bootes*	Nr. dośw. *Nr. des Exper.*	Czas pracy *Arbeitsdauer* min	Koszt pracy *Energieaufwand* l O_2	Dług tlenowy *O_2 — Schuld* l O_2	% całk. nadw. zużycia O_2 *% d. t. Energieaufwandes*	Nr. dośw. *Nr. des Exper.*	Czas pracy *Arbeitsdauer* min	Koszt pracy *Energieaufwand* l O_2	Dług tlenowy *O_2 — Schuld* l O_2	% całk. nadw. zużycia O_2 *% d. tot. Energieaufwandes*
Kajak	35	21′	27.69	1.01	3.6	40	21′	16.56	0.94	5.7
Krypa *Boot*	36	20′	23.18	1.00	4.3	41	23′	31.15	1.85	5.9
dwójka *Zweier*	37	16′55″	27.21	1.56	5.7	42	19′50″	33.23	1.83	5.5

Z wykonanych doświadczeń wynika, iż wiosłowanie na dwójce jest połączone z większym wydatkiem energetycznym niż na krypie.

U osobnika S. K. (dośw. 36,37) różnica ta wynosi 15%, u drugiego zaś badanego J. Cz. (dośw. 41, 42) — 7%. Ze względu na małą liczbę doświadczeń dane te mają tylko znaczenie orjentacyjne, a biorąc pod uwagę dość słabe opanowanie techniczne wiosłowania na dwójce, nie upoważniają do uogólniania wyników.

W Tab. I — III podano również wartości długu tlenowego; przeglądając te dane możemy stwierdzić, że nietylko nadwyżka

zużycia tlenu w czasie pracy, lecz także i dług tlenowy, obliczany z nadwyżki zużycia tlenu w okresie wypoczynku w porównaniu ze spoczynkiem jest większy przy pracy na dwójce, niż na kajaku. Średnio dla dwójki przy tempie turystycznem dług tlenowy wynosi 2.19 l O_2, dla kajaku zaś 1.60 l, czyli o 41% więcej, przy tempie szybkiem różnica wynosi tylko 7%, a zatem różnica w koszcie całkowitym pracy i długu tlenowym podczas pracy na omawianych typach łodzi przy szybkości większej jest bardzo zbliżona.



Rys. 5. Wydatek energetyczny podczas wiosłowania na 100 m przy różnej szybkości na kajaku i dwójce. (Osobn. Z. N.).

Fig. 5. Der Energieaufwand beim Rudern. (Strecke 100 m). Verspers. Z. N.

Porównywując ze sobą dług tlenowy podczas wiosłowania na jednym typie łodzi, lecz przy różnem tempie i czasie wiosłowania, możemy stwierdzić, że podobnie jak i inne wysiłki fizyczne, wiosłowanie szybkie, trwające krótki przeciąg czasu, odbywa się z większem zadłużeniem tlenowem od powolnego, trwającego dłuższy okres czasu. Wynik ten ilustruje Tab. XI i wykres 5, na którym podano koszt fizjologiczny wiosłowania w przeliczeniu na 100 m na dwójce i kajaku przy różnem tempie wiosłowania. Dług tlenowy, stanowiący podczas wiosłowania na dwójce przy szybkości mniejszej 14% całego kosztu pracy, przy 1.5-krotnem zwiększeniu szybkości dochodzi do 40%. Podobny wzrost długu tlenowego pod wpływem zwiększenia szybkości zachodzi u tego samego badanego (Z. N.) przy wiosłowaniu na kajaku: dług tlenowy z 11% dochodzi do 41%.

TAB. XI.

Koszt pracy wiosłowania na 100 m przy różnej szybkości.
(Osobnik Z. N.).

Typ łodzi	Szybk. wiosł. m/min	Koszt pracy $l O_2$	%	Dług tlenowy $l O_2$	%
Dwójka	102.7	2.27	100	0.32	100
,,	151.5	2.91	123	1.17	369
Kajak	106.2	1.51	100	0.17	100
,,	145.0	2.62	148	2.06	610

Jak wynika z powyższej tabeli całkowita nadwyżka zużycia tlenu wzrasta pod wpływem zwiększenia szybkości w mniejszym stopniu niż dług tlenowy. Zwiększenie szybkości wiosłowania na kajaku powoduje stosunkowo znaczniejszy wzrost długu tlenowego niż wiosłowanie na dwójce.

OMÓWIENIE WYNIKÓW.

Wiosłowanie w tempie turystycznem należy do wysiłków trwałych, umiarkowanych, mogących być dokonywanemi przez długi okres czasu. Zużycie tlenu, dochodzące przy szybkości powolnej do 3054 cm^3/min, zbliżone jest do wartości charakteryzujących takie wysiłki trwałe, jak kolarstwo *(Missiuro* i *Szulc)*, narciarstwo *(Liljestrand* i *Stenström)*.

Według *Hendersona* i *Haggarda*, wiosłowanie należy do wysiłków maksymalnych; wyników jego badań nie można jednak zestawiać z naszemi ze względu na to, iż autorzy wyżej wymienieni przeprowadzali badania na ekipie olimpijskiej, podczas wiosłowania na ósemce wyścigowej w tempie niedostępnem dla naszych badanych, stąd też znacznie mniejszy wzrost wymiany oddechowej w naszych badaniach.

Wynik badań, wykazujący, że koszt energetyczny wiosłowania — przy tej samej trasie i bardzo zbliżonem tempie turystycznem — jest większy na dwójce niż na kajaku, trzeba tłumaczyć odmienną dla każdego typu łodzi techniką pracy z jednej — oraz różnicą w masie i szczegółach konstrukcji z drugiej strony.

Niewątpliwym jest fakt, że technika pracy na dwójce jest bardziej złożona i o wiele trudniejsza niż na kajaku. Już to de-

cyduje o roli treningu w wydatku energetycznym; brak zaprawy odbija się znacznie słabiej przy wiosłowaniu na kajaku. (Rys. 4). Szczegół ten jest w naszym przypadku o tyle ważny, że, jak już zaznaczono wyżej, badani wioślarze byli to w większości przypadków nowicjusze. Ze stanowiska mechaniki ruchów jednak — równie istotny dla energetyki wiosłowania jest fakt udziału olbrzymich mas mięśniowych w pracy na łodzi klepkowej, przedewszystkiem zaś mięśni kończyn dolnych, które stanowią około 60% umięśnienia ustroju. Wydatny przytem współudział mięśni kończyn górnych i tułowiu czyni pracę wioślarza klepkowego bardzo wszechstronną. Inaczej na kajaku — tutaj pracują przedewszystkiem kończyny górne, przyczem rodzaj i natężenie pracy tułowiu i kończyn dolnych (ograniczonej do ustalenia miednicy) zależny jest przedewszystkiem od stylu i tempa pracy. W tempie turystycznem tułów jest najczęściej oparty o oparcie siedzenia — przez co praca statyczna kończyn dolnych dla ustalenia bioder redukuje się do minimum, a skręty tułowiu siłą rzeczy są niewielkie.

Natężenie pracy wzrasta wybitnie przy szybszem tempie — zmienia się wtedy styl pracy, udział mięśni tułowiu jest większy z powodu obszerniejszych skrętów i częściowego opadu a nawet skłonu tułowiu wprzód; wioślarz nie korzysta już z oparcia, przez co dla ustalenia miednicy wzmaga się praca statyczna kończyn dolnych, które przyjmują najczęściej pozycję podobną, jak w siadzie skulno-rozwartym (nogi skurczone, kolana opierają się o burtę łodzi). Podobną pozycję przyjmuje wioślarz również na tempie turystycznem dla łatwiejszego zachowania równowagi przy fali bocznej i przy pracy na bardzo wąskich kajakach. Wyrazem wzrastającej pracy statycznej podczas wiosłowania szybkiego na kajaku jest wysoki iloraz oddechowy, który występuje podczas tego rodzaju pracy.

Na podstawie tej bardzo ogólnej analizy techniki wiosłowania na obu rodzajach łodzi staje się zrozumiałem, że wiosłowanie na dwójce wymaga bardzo skomplikowanych ruchów, angażujących znacznie większą masę grup mięśniowych, co pociąga za sobą większy wydatek energetyczny niż wiosłowanie na kajaku.

W związku z tem nasuwa się pytanie, czy zwiększenie szybkości wiosłowania nie wpłynie korzystniej na koszt energetyczny wiosłowania na dwójce niż na kajaku. Przemawia-

łaby za tem większa stałość rytmu wiosłowania i możliwość pracy w rytmie fizjologicznym — czemu znowu przeszkadza na kajaku naprzemianstronne wiosłowanie, powodujące stałe wahanie dzioba łodzi — i stąd konieczność dodatkowych uderzeń dla zachowania kierunku jazdy (w naszych badaniach kajaki nie posiadały steru). Za względnie szybszem wreszcie wystąpieniem zmęczenia na kajaku zdaje się nadto przemawiaćześrodkowanie pracy na znacznie mniejszej (niż na dwójce) ilości grup mięśniowych, mniejsza możliwość zachowania rytmu, gorszy układ kończyn górnych w pracy (i unoszenie całego ciężaru wiosła) oraz wspomniany już statyczny charakter pracy kończyn dolnych i części mięśni tułowiu — szczególnie wybitny na tempie szybkim.

Jak już zaznaczono wyżej, na tempie szybkiem zmalała znacznie różnica między kosztem energetycznym pracy na dwójce i kajaku, przyczem na taki układ stosunku wpłynął głównie wysoki wzrost kosztu fizjologicznego pracy na kajaku pod wpływem zwiększenia tempa. Prawdopodobnie jeszcze szybsze tempo wiosłowania na obu typach łodzi, aniżeli w naszych doświadczeniach — przy doskonalszej technice wiosłowania na łodziach klepkowych — dałoby stosunek odwrotny — przy pewnem optymalnem tempie szybkiem — ekonomiczniejszą pracę na dwójce. Ta bowiem już ze swej konstrukcji jest łodzią szybszą. Może słuszną okazałaby sią tu analogja między stosunkiem chodu do biegu, z których drugi jest, przy pewnem optymalnem tempie, ekonomiczniejszy od prędkiego chodu *(Zuntz, Liljestrand* i *Stenström)*. Kajak więc byłby ekonomiczniejszy na tempie turystycznem — dwójka na szybkiem.

Na mniejszą przydatność kajaku jako łodzi szybkiej — zdaje się wskazywać w naszych doświadczeniach duży skok w nadwyżce zużycia O_2 na tempie szybkiem — w odniesieniu do takich wartości na tempie turystycznem. To samo dotyczy przyrostu długu tlenowego. Przy wiosłowaniu na dwójce wzrost nadwyżki zużycia tlenu przy zwiększeniu szybkości jest znacznie mniejszy. Zważywszy jednak dalej małą masę kajaku i kształt (stosunek szerokości do długości), które są raczej zbliżone do typu łodzi wyścigowych — trzeba stwierdzić, że na łódź turystyczną kwalifikują go te szczegóły konstrukcyjne, które związane są ze stosunkowo mało wydajną techniką pracy. A więc wiosła stosunkowo krótkie, mała obszerność ruchu, naprzemian-

TAB. XII.

Wyniki niektórych doświadczeń. — *Resultate einiger Versuche.*

Nr. Serji	I					I					I					II				
Nr. dośw. *Nr. d. Exper.*	9					10					22					25				
Osobnik *Vers. pers.*	S. C.					I. J.					B. B.					B. S.				
Szybkość *Geschwind.*	(Klas). 40 m/min					(Klas.) 41,5 m/min					(Crawl.) 40 m/min					(Klas.) 57 m/min				
War. dośw. *Beding. d. Exper.*	Wentylacja *Ventilation* l/min	Liczba oddech. *Atemfrequenz* na min	Natężenie wymiany gazowej *Intensität d. Gasstoffwechsels* CO_2 cm³/min	O_2 cm³/min	Iloraz oddech. RQ	Wentylacja *Ventilation* l/min	Liczba oddech. *Atemfrequenz* na min	Natężenie wymiany gazowej *Intensität d. Gasstoffwechsels* CO_2 cm³/min	O_2 cm³/min	Iloraz oddech. RQ	Wentylacja *Ventilation* l/min	Liczba oddech. *Atemfrequenz* na min	Natężenie wymiany gazowej *Intensität d. Gasstoffwechsels* CO_2 cm³/min	O_2 cm³/min	Iloraz oddech. RO	Wentylacja *Ventilation* l/min	Liczba oddech. *Atemfrequenz* na min	Natężenie wymiany gazowej *Intensität d. Gasstoffwechsels* CO_2 cm³/min	O_2 cm³/min	Iloraz oddech. RQ
Spoczynek *Ruhe*	7.6	16	278	292	0.95	7.6	11	274	330	0.83	7.6	20	236	293	0.81	7.5	14	262	300	0.88
Praca *Arbeit* 1'	41.2	26	1596	1732	0.92	51.6	25	2005	2092	0.95	41.8	28	1643	1631	1.01	58.7	—	2254	2477	0 91
2'	49.4	25	2262	2415	0.94	45.6	22	2226	2463	0.90	59.6	30	2544	2174	1 17	—	—	—	--	—
Wypocz. — *Erholung* 1'	43.3	18	2095	2070	1.02	38.1	16	1768	1844	0.96	52.4	22	2465	2098	1.18	53.1	20	2162	1870	1.16
3'	12.1	13	412	356	1.34	19.4	13	695	673	1.03	22.9	20	823	625	1.32	25.8	18	913	640	1.43
6'	12.3	13	426	381	1.12	12.5	12	381	412	0.92	18.5	16	650	562	1.16	19.0	15	663	576	1.15
9' — 10'	6.6	12	230	293	0.79	6.9	10	216	258	0.84	10.8	18	303	396	0.76	10.5	16	318	337	0.94
14' — 15'	7.0	14	229	271	0.84	6.5	6	206	244	0 84	8.9	18	250	351	0.71	8.5	14	300	360	0.83

Nr. serji	I					II					III					III				
Nr. dośw *Nr. d. Exper.*	8					19					27					24				
Osobnik *Vers. pers.*	K. W.					I. J.					M. A.					M. A.				
Szybkość *Geschwind.*	(Crawl.) 40 m min					(Crawl.) 56 m min					(Klas.) 33 m min					(Crawl.) 40 m/min				
Spoczynek *Ruhe*	6.6	18	197	241	0.98	8.1	9	289	322	0.90	6.9	18	221	284	0.78	7.2	18	235	270	0.87
Praca *Arbeit* 1'	49.9	44	2187	2462	0.89	72.9	32	2895	2742	1.06	51.0	39	1850	2013	0.92	54.4	42	2183	1933	1.13
2'	71.3	52	4082	3151	1.19															
Wypocz. — *Erholung* 1'	43.4	26	2450	1874	1.31	73.6	24	3133	1978	1.58	47.0	21	2347	1980	1.19	62.3	30	2976	2073	1.44
3'	31.6	24	1302	765	1.71	48.7	14	1366	931	1.47	25.0	17	881	637	1.38	31.2	17	1097	623	1.76
6'	20.4	18	814	607	1.34	35.4	13	690	676	1.02	13.5	16	425	409	1.04	20.4	17	631	460	1.37
9' — 10'	11.6	17	372	365	1.02	22.5	10	449	491	0.92	8.6	14	278	327	0.86	11.8	21	304	332	0.92
14' — 15'	7.4	17	182	280	0.64	14.4	18	349	419	0.83	6.6	14	204	278	0.73	11.9	22	297	334	0.89

stronna praca głównie kończyn górnych przy stosunkowo słabem wykorzystaniu tułowiu. Na większe wykorzystanie mięśni tułowiu nie pozwala jednak specyficzna postawa kajakowca w pozycji, zbliżonej do siadu rozkrocznego względnie skulnorozwartego — która wyklucza w dużej mierze pracę ze stawów biodrowych. Ruchy w nich, nawet przy wspomnianym już stylu szybkiego wiosłowania, są nieznaczne. Stąd więc, tej niewygodnej postawie kajakowca należy przypisać mało efektywny a przytem nieproporcjonalnie wysoki koszt energetyczny pracy na tempie szybkiem i w rezultacie przydatność kajaku raczej do łagodnej pracy na tempie turystycznem.

Dalszym czynnikiem, który obok techniki wiosłowania obciąża koszt fizjologiczny pracy na dwójce, jest jej masa, która przekracza najmniej około trzy razy masę kajaku. Nadto w następstwie tych warunków powierzchnia przekroju poprzecznego zanurzonej części kadłuba — w najszerszej części łodzi — jest większa, niż na kajaku, co skolei powoduje większy opór czołowy, większą wyporność i większe zanurzenie dwójki.

Wszystkie te czynniki razem tłumaczą więc w dużej mierze większy koszt wiosłowania na dwójce turystycznej w porównaniu z kajakiem, stawiając ten ostatni z energetycznego punktu widzenia — w rzędzie ekonomiczniejszych dla turystyki wodnej środków lokomocji, których ideałem jest niewątpliwie składak. Na podstawie naszych badań jednak wolno nam taki wniosek odnieść przedewszystkiem do wioślarzy słabo zaawansowanych technicznie, i do dwójek i kajaków szerokich typu cięższego (turystycznego).

WNIOSKI.

1. Wiosłowanie z szybkością około 100 m/min odbywa się w warunkach równowagi funkcjonalnej ustroju.

2. Wydatek energetyczny podczas wiosłowania na dwójce jest większy, niż podczas wiosłowania na kajaku. Różnica ta przy tempie powolnem zaznacza się wyraźnie, dochodząc do 42%, przy tempie zaś szybkiem zmniejsza się i wynosi tylko 8%.

3. Wydatek energetyczny podczas wiosłowania w tempie turystycznem wzrasta od 3 do 6 razy, podczas wiosłowania w tempie szybkiem do 12 razy.

4. Wykorzystanie tlenu z powietrza, przepływającego przez płuca, jest lepsze podczas wiosłowania na dwójce, niż na kajaku; wyraźne zmniejszenie ilorazu O_2 ccm/1 l went. w porównaniu z wartością spoczynkową występuje podczas wiosłowania na kajaku w tempie szybkiem.

Pozwalamy sobie w tem miejscu uprzejmie podziękować P. Doc. Dr. W. Missiuro za kierownictwo przy prowadzeniu niniejszej pracy.

PIŚMIENNICTWO.

Dusser de Barenne J. G. und G. C. E. Burger. Pflüg. Arch. 218. 1918. *E. H. Chriestensen.* Arbphysiol. 3. 1929.

Ewig E. Z. exper. Med. *51.* 1926. cyt. wg. Berichte über die gesamte Physiologie.

Herxheimer H. und R. Kost. Z. f. Klin. Med. *110.* 1929.

Hansen E. Atmung und Kreislauf bei körperlicher Arbeit. Hndb. d. norm. und pathol. Physiologie. *15* (II). 1931.

Henderson V and H. Haggard. Am. J. of Physiol. 72. 1925.

Liljestrand G. und J. Lindhard. Skand. Arch. *39.* 1920.

Liljestrand G. und N. Stenström. Skand. Arch. *39.* 1920.

Lindhard J. Skand. Arch. *40.* 1920.

Missiuro W. i G. Szulc. Przegl. Sport.-Lekarski. 2. 1930.

Niemierko S. Przegląd Fizjol. Ruchu. *6.* 1935.

Perlberg A. Przegl. Fizjol. Ruchu. 5. 1935.

Preisler E. Przegl. Fizjol. Ruchu. 7. 1936.

Szwejkowska G. Przegl. Fizjol. Ruchu. 7. 1935.

Wohlfeil. Sportmedizin. 1929. cyt. wg. *Piaseckiego.* Zarys teorji Wych. Fizycznego. Lwów 1935.

(Z Zakładu Fizjologji Un. Pozn. Dyrektor: Prof. Dr. L. Zbyszewski).

Stanisław Grochmal.

ODRUCHOWA POJEMNOŚĆ ŻYCIOWA PŁUC JAKO WSKAŹNIK ICH FIZJOLOGICZNEJ SPRAWNOŚCI.

Wpłynęło 23.VII.35.

L'appréciation du bon fonctionnement des poumons a une grande signification pratique. Les méthodes qui ont été employées jusqu'à maintenant se sont averées insuffisantes. C'est pourquoi *Goiffon* et *Parent* ont mis au point une épreuve d'hyperpnée provoquée en espace clos. L'individu soumis à l'épreuve respire d'une quantité limitée d'air jusqu'aux symptomes d'hyperpnée qui oblige de suspendre immediatement l'épreuve. L'accumulation de CO_2 entraîne un acroissement de la ventilation jusqu'à un certain maximum. *Goiffon* a appelé cette grandeur „capacité vitale réflexe" en la distinguant de capacité vitale volontaire. La capacité réflexe détermine le bon fonctionnement des centres réflexes et mesure le degré d'adaption du système respiratoire à l'effort excessif.

L'épreuve *Goiffon* peut être faite au moyen d'un spirographe spécial ou bien de l'appareil de *Krogh* modifié à cette fin. Dans l'appréciation du bon fonctionnement des poumons il faut tenir compte de tout le diagramme et surtout: 1) de la grandeur de la capacité vitale volontaire (norm. 3.5—4 l), 2) de la grandeur de capacité vitale réflexe (norm. 2—2.5 l), 3) du rapport de la capacité réflexe à la capacité volontaire exprimé au % (norm. 60—70%), 4) du rapport de capacité réflexe à l'air respiré (norm. 3—6), 5) de la nature de la courbe dans les diverses phases de la respiration et l'allure du pouls.

Les déviation des chiffres ci-dessus, qui peuvent être considerés comme „norme", démontrent divers troubles fonctionnels du système respiratoire ou confirment les modifications anatomiques décelées par d'autres méthodes. C'est pourquoi l'épreuve *Goiffon* et *Parent* doit trouver son application aussi bien dans les recherches physiologiques et dans le clinique que dans les divers établissement sportifs et de l'éducation physique.

Czynność płuc w całokształtcie zjawisk oddechowych i wymiany gazowej polega głównie na doprowadzeniu do krwi powietrza, zawierającego potrzebną ilość O_2 i na wydaleniu nadmiaru CO_2. Spełnienie tego zadania umożliwiają ruchy wdechowe i wydechowe kl. piersiowej, dzięki którym następują zmiany objętościowe i różnice ciśnień w płucach i górnych drogach oddechowych, wywołujące krążenie prądu powietrza, który określa wielkość wentylacji. Zaburzenia w prawidłowej czynności płuc mogą być pochodzenia organicznego, te może wykryć fizykalna metoda badania klinicznego, oraz pochodzenia czysto czynnościowego, które pozwala wykryć tylko ścisła ocena fizjologicznej sprawności płuc, natomiast badanie fizykalne pozwala je conajwyżej przypuszczać. Stwierdzenie jednak tylko istnienia czynnościowych zaburzeń jest niewystarczającem, trzeba bowiem jeszcze określić ich rozmiar i znaleźć przyczynę. Pierwsze objawy tych odchyleń będą dotyczyły przedewszystkiem zaburzeń wentylacji i wymiany gazowej, powodujących w ustroju albo nagromadzenie nadmiaru CO_2, albo wywołujących niedobór tlenowy. Następstwa znajdą swój wyraz w niedomodze bądźto krążenia krwi, lub układu nerwowego, bądźto w zaburzeniach przemiany materji, czy wogóle całej gospodarki ustroju.

Już w normalnych warunkach tak zużycie O_2, jak i produkcja CO_2 ulega różnym wahaniom. Może być stała, gdy się ją określa jako przemianę podstawową, lub zmienną w zależności od wykonywanej przez tkanki pracy, przyczem zakres tej zmiany jest bardzo szeroki i nie zawsze proporcjonalny do wielkości pracy. To też płuca muszą tak pracować, aby przewietrzanie ich było w stanie, stosownie do potrzeby, utlenić dostatecznie krew i wydalić zbędny CO_2. Przewietrzanie płuc jest regulowane przez

nerwowe ośrodki oddychania, które mogą być pobudzane drogą odruchową przez bodźce, pochodzące tak z wewnątrz, jak i zewnątrz ustroju, a także drogą podniet, wychodzących z wyższych ośrodków psychicznych. Każdy bowiem człowiek może w pewnych granicach impulsami woli zwalniać, lub przyspieszać swój oddech, czynić go mniej, lub więcej głębokim, jednakowoż ta dowolna zmiana wentylacji zostaje następowo wyrównana działaniem ośrodków odruchowych, których sprawność decyduje ostatecznie o rzeczywistej wartości przewietrzania i o stopniu przystosowania się płuc do różnych warunków pracy. Ocena więc fizjologicznej sprawności układu oddechowego posiada duże praktyczne znaczenie.

Toteż zagadnienie czynnościowej oceny płuc oddawna zajmowało fizjologów, którzy w tym celu podali liczne metody badania. Jedną z nich jest pomiar obwodu kl. piersiowej podczas głębokiego wdechu i wydechu. Otrzymane wyniki, ujęte często we wskaźnik *Martyego* $\frac{(\text{obw. kl. piersiowej} \times 100)}{\text{wzrost}}$, lub *Pigneta* [wzrost — (ciężar+obw. kl. piersiowej)], uzupełnia się oglądaniem kl. piersiowej i badaniem radioskopowem rozszerzalności płuc. Inną metodę stanowi określanie pojemności życiowej płuc, a więc sumy powietrza oddechowego, zapasowego i uzupełniającego, jako składowej wskaźnika *Ziemssena* $\frac{(\text{poj. życiowa})}{\text{wzrost}}$, lub *Amara* $\frac{(\text{poj. życiowa})}{\text{waga}}$, czy wreszcie *Spehla* $\frac{(\text{poj. życ.} \times \text{ciężar})}{\text{wzrost}}$. Przy selekcji kandydatów do lotnictwa i sportu stosuje się badanie wytrzymałości oddechowej, wprowadzonej u nas pod nazwą próby *Flacka,* wykonywanej w trzech sposobach. Najpierw badany wykonuje głęboki wydech, poczem znów wdech i, zatkawszy sobie usta, stara się zatrzymać oddech jak najdłużej. Drugi sposób polega na przesunięciu jak najdalej wskazówki pneumometru *Pecha,* lub podniesieniu poziomu rtęci w pneumomanometrze *Waldenburga* siłą największego wydechu po uprzednim głębokim wdechu. Wreszcie trzecia postać tej próby to utrzymanie możliwie jak najdłużej dowolnego bezdechu pod ciśnieniem 40 mm Hg, uzyskanem przez zapoczątkowanie wydechu. W celu zbadania sprawności oddechowej płuc mierzy się również powietrze oddechowe i jego ciśnienie, względnie całkowitą wentylację w pewnym czasie np. w ciągu 10 minut. Do tych me-

tod zbliżony jest wskaźnik zużycia tlenu *Goreckiego* (stosunek wentylacji minutowej płuc do ilości tlenu pochłoniętego w tym czasie), oraz pomiar dodatkowej wartości wentylacji niezależnej od objętości powietrza, krążącego istotnie w płucach, wprowadzony przez *Mathieu* i *Etienne'a*. Są bowiem osobnicy, którzy oddychają „pełnemi płucami", za każdym więc oddechem płuca wydalają należycie, zmniejszając w ten sposób znacznie powietrze zapasowe, co sprzyja lepszemu utlenianiu krwi. Inni oddychają raczej „przy pełnych płucach", u nich powietrze uzupełniające jest niewielkie, natomiast duże powietrze zalegające, a tem samem i dopływ tlenu obniżony. *Goiffon* i *Parent* ujęli zmienną wartość tych wielkości w t. zw. średnią wentylacji (stosunek ½ pow. odd.+pow. uzupeł. do ½ pow. oddech.+pow. zapasowe). Wreszcie do prób oceny sprawności oddechowej płuc należą badania nad wentylacją płucną w czasie wysiłku mięśniowego, wywołanego najczęściej jazdą na rowerze.

Z tych wszystkich metod na większą uwagę zasługuje określenie pojemności życiowej płuc i badanie wentylacji oddechowej podczas pracy fizycznej. Pojemność życiowa płuc jest wyrazem rozwoju kl. piersiowej i wskazuje największą objętość powietrza, jaka może przejść przez płuca, określając tem samem możliwości oddechowe danego ustroju. Jednakowoż pojemność życiowa płuc stanowi pojęcie statyczne, a wielkość jej jest uzyskiwaną aktem woli, a więc wysiłkiem dowolnym, podczas gdy oddychanie jako proces biologiczny jest pojęciem całkowicie dynamicznem, a wielkość wentylacji stałej, obliczonej na dłuższą metę i na zmienione warunki pracy płuc, regulują wyłącznie ośrodki samodzielne wegetatywne, a nie akty woli. Z tych względów poj. życiowa nie daje obrazu fizjologicznej sprawności płuc, a jedynie określa granice, w obrębie których może się odbywać wentylacja. Dopiero zestawienie możliwości anatomicznych kl. piersiowej i tkanki płucnej z oceną czynności odruchowych ośrodków oddychania pozwala ocenić rzeczywistą wartość układu oddechowego.

Badania nad nerwową regulacją oddychania wykazały, że zasadniczą rolę w wentylacji płuc odgrywa CO_2. Wzrost CO_2 w powietrzu pęcherzykowem o 0,2% zwiększa, jak stwierdził *Haldane*, dwukrotnie przewietrzanie płuc, pobudliwość bowiem odruchowych ośrodków jest nastawiona głównie na różne ilości CO_2, podczas gdy brak tlenu wpływa na nią w daleko mniejszym

stopniu. To też praca mięśniowa, wytwarzając przez gwałtowne zwiększenie procesów spalania nadmiar CO_2, którego organizm drogą przewietrzania nie zdąży wydalić, może w pewnych granicach stanowić sprawdzian wartość oddechowej płuc. Jednakowoż próba tego rodzaju jest uciążliwa i nie daje się przeprowadzić u wszystkich osób, poza tem wywiera duży wpływ na krążenie, co uniemożliwia ścisłe odgraniczenie i ocenę sprawności wyłącznie układu oddechowego.

Goiffon i *Parent*, aby uniknąć niepożądanych wpływów pracy mięśniowej, zastosowali do badania sprawności płuc próbę duszności, wywołanej w zamkniętej przestrzeni. Istota jej polega na tem, że badany osobnik oddycha ściśle ograniczoną ilością powietrza (najczęściej 6 — 8 l) aż do wystąpienia objawów silnej duszności, która go zmusza do natychmiastowego przerwania próby. Oddychanie powietrzem, zawartem w zamkniętej przestrzeni, wywołuje po kilku minutach nagromadzenie się CO_2 i ubytek O_2, które, powodując ostrą kwasicę gazową, zwiększają wentylację płuc aż do pewnego „maximum", właściwego danej osobie i stanowiącego jej maksymalne powietrze oddechowe. Wielkość tę nazwał *Goiffon* w odróżnieniu od pojemności życiowej „dowolnej", pojemnością życiową „odruchową". Pojemność odruchowa (p. o.) określa sprawność odruchowych ośrodków i jest miarą przystosowania się układu oddechowego na wypadek nadmiernej pracy. W ten sposób próba *Goiffona* zastępuje całkowicie największy wysiłek mięśniowy, jaki daje praca fizyczna, pozostając do pewnego stopnia bez wpływu na układ krążenia. Czynnikiem, zwiększającym przewietrzanie, jest w obu metodach wzrost ciśnienia CO_2 we krwi. W próbie *Goiffona* ilość kw. węglowego wzrasta w aparacie w pierwszych minutach szybko, później bardzo powoli, osiągając pod koniec stężenie 7 — 8%. Zawartość 5 — 6% CO_2 w pęcherzykach płucnych pozostaje zatem przez cały czas doświadczenia, jakby w pewnej równowadze z powietrzem, zamkniętem w aparacie. Wytwarzający się CO_2, bez powstrzymywania procesów utleniania, zostaje pochłaniany przez rezerwę alkaliczną krwi i cały system buforowy płynów ustrojowych.

Podczas pracy mięśniowej wskutek gwałtownego wzrostu procesów spalania, ustrój nie może nadążyć w wydaleniu drogą wentylacji nadmiaru CO_2 i również przychodzi do zaburzenia równowagi kwaso-zasadowej, zwiększającego się jeszcze pod

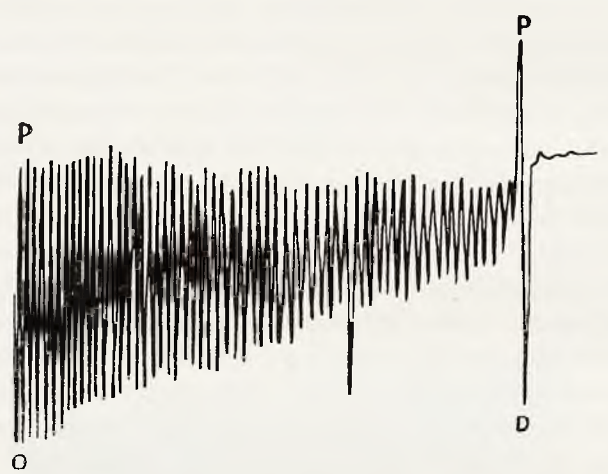
wpływem kw. mlekowego i innych. W obu zatem przypadkach końcowy efekt w formie wzrostu wentylacji jest ten sam, jakkolwiek wywołany inną drogą, raz bowiem CO_2 normalnie powstający nie ma miejsca odpływu i gromadzi się w nadmiarze, drugi raz wskutek wzmożonej produkcji CO_2 organizm nie jest w stanie wydalić go w odpowiedniej ilości.

Jeśli chodzi o tlen, to praca mięśniowa, zwiększając wentylację, zwiększa zarazem dopływ tlenu, i krew tętnicza jest zawsze dostatecznie utlenioną. Natomiast w miarę wysiłku krew żylna ubożeje w O_2 i to niekiedy z 15% do 6 — 4% wskutek większego zużycia tlenu przez tkanki, zwłaszcza przez mięśnie. Toteż brak tlenu odczuwają jedynie mięśnie, a nie dotyczy on ośrodków nerwowych. Przeciwnie, jest w próbie *Goiffona,* gdzie powietrze, służące do oddychania, szybko traci tlen, krew tętnicza staje się niedotlenioną, co doprowadza do objawów niedoboru tlenowego, zwłaszcza w obrębie ośrodków nerwowych. Odpowiednikiem większego zużycia O_2 podczas pracy mięśniowej jest tutaj mniejszy jego dowóz.

Zasadnicza jednak różnica między oddychaniem powietrzem z przestrzeni zamkniętej a wysiłkiem fizycznym polega na ich różnem działaniu na krążenie. O ile bowiem praca mięśniowa wpływa w dużym stopniu na wielkość, częstość i siłę skurczu serca i dla osób z chorobami serca jest przeciwskazana, o tyle próba *Goiffona* pobudza krążenie minimalnie (tętno np. u normalnego osobnika wzrasta w okresie największej duszności najwyżej o 10 uderzeń na minutę), co pozwala ją stosować nawet u ciężko chorych.

Techniczne wykonanie tej próby jest bardzo proste i łatwe. Oryginalny aparat pomysłu *Goiffona* i *Parenta* przedstawia mieszek ograniczony z dwóch stron płytkami, z których jedna ruchoma, połączona z pisakiem, zapisuje ruchy na poruszającej się taśmie, druga natomiast zaopatrzona jest w kurek do napełniania spirografu powietrzem w dowolnej ilości i w rurę oddechową. Badany osobnik po zamknięciu przewodów nosowych zaciskaczem, wkłada do ust ustnik, połączony rurą z aparatem, i po określeniu poj. życiowej dowolnej oddycha w dalszym ciągu normalnie i tak długo, dopóki nasilające się objawy duszności nie zmuszą go do przerwania próby. Największa amplituda oddechów określa w i e l k o ś ć p o j. ż y c i o w e j o d r u c h o w e j.

W badaniach własnych, przeprowadzanych w Zakładzie Fizjologji Un. Pozn., zamiast oryginalnego aparatu *Goiffona* i *Parenta,* użyłem z tym samym wynikiem aparatu *Krogha,* usuwając z wnętrza wapno sodowane, które pochłania CO_2, i zastępując rury wdechową i wydechową z odpowiednimi wentylami, jedną krótką rurą oddechową. Zbyt dużą objętość aparatu zmniejszałem do żądanej wielkości sześcianami z drzewa. Sam przebieg doświadczenia jest zupełnie podobny do opisanego wyżej.



Rys. 1. p. d. — 3,7 l; p. o. — 2,8 l; pow. odd. — 700 cm³; $\frac{\text{p. o}}{\text{p. d.}} = 76\%$; wsp. pob. odr. = 4,0.

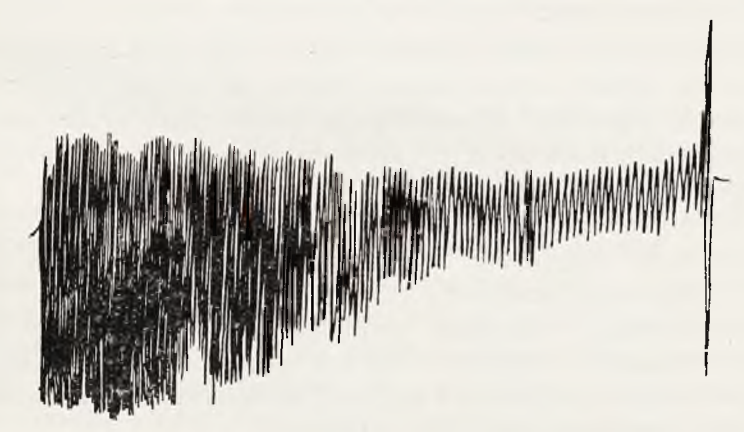
Otrzymane tą drogą wykresy służą za podstawę czynnościowej oceny układu oddechowego. Analiza ich w tym celu musi być bardzo dokładną i uzupełnioną porównawczemi zestawieniami otrzymanych wielkości. W pierwszym rzędzie należy zwrócić uwagę na następujące szczegóły (rys. rys. 1 — 5):

1) wielkość pojemności życiowej dowolnej;
2) okres oddychania normalnego (wielkość powietrza oddechowego, częstość i okresowość oddechów);
3) szybkość wzrastania amplitudy ruchów oddechowych i częstości oddechów oraz ich miarowość w narastaniu;
4) wielkość pojemności życiowej odruchowej i czas trwania okresu maksymalnej wentylacji;
5) okres końcowy próby (objawy, towarzyszące jej przerwaniu);

6) zachowanie się tętna, zwłaszcza w razie nadmiernego przedłużania się doświadczenia;
7) stosunek poj. odr. do poj. dow., wyrażony w procentach;
8) stosunek poj. odr. do pow. oddechowego.

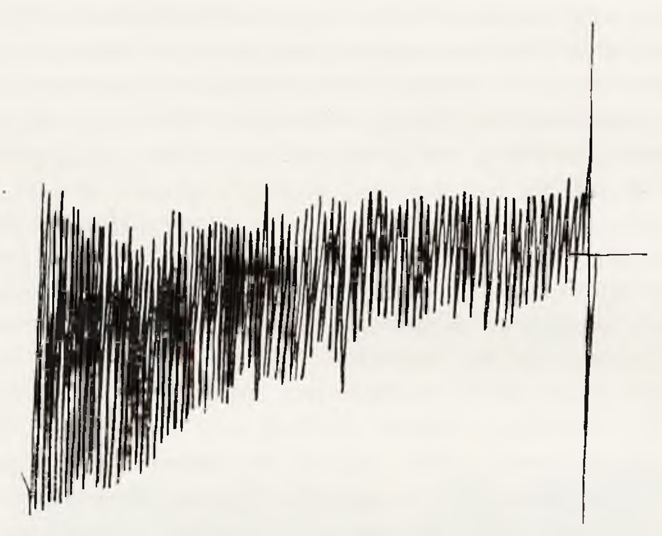
Pojemność życiowa dowolna jest wielkością, zależną w dużej mierze od wzrostu, szerokości kl. piersiowej, wieku, ruchomości przepony, od uprawianych sportów, oraz od różnych procesów chorobowych w układzie oddechowym. Wielkość ta jednak, jako miara statyczna, nie mówi nic o czynności płuc, zaprawa np. czysto oddechowa nie wywiera na nią większego wpływu. Wprawdzie *Achard* i *Binet*, a z polskich autorów *Missiuro* podali próbę czynnościowego badania poj. dow., jednak wyniki, otrzymywane tą drogą, określają prawdopodobnie wahania wrażliwości ośrodka oddechowego, zależne od czynników psychicznych, a nie dotyczą pobudliwości ośrodka odruchowego, która decyduje w ocenie wentylacji płuc. To też wnioski *Reicherówny* odnośnie do badań nad poj. dow., w skład której zalicza powietrze zapasowe, uzupełniające, oddechowe i szkodliwe, oraz którą uważa za najlepszy wyraz sprawności czynnościowej płuc, trzeba uznać w świetle próby *Goiffona* za zbyt daleko idące. Na spirogramie bowiem wielkość poj. dow. określa tylko granicę, uwarunkowaną czynnikami anatomicznemi względnie anatomo-patologicznemi, którą może osiągnąć poj. odruchowa.

Okres normalnego oddychania, w czasie którego badany może dowolnie zmieniać do pewnego stopnia rytm i głębokość od-



Rys. 2. p. d. — 3,7 l; p. o. — 2,7 l; pow. odd. — 600 cm³; $\frac{\text{p. o.}}{\text{p. d.}} = 74\%$; wsp. pob. odr. = 4,5.

dechów, pozwala określić wielkość powietrza oddechowego, stanowiącego miarę codziennej wentylacji, dostosowanej do spoczynku i umiarkowanych wysiłków. Wielkość ta również zależy od wielu czynników, jak przemiany podstawowej, trybu życia, zaprawy oddechowej lub przeszkód w oddychaniu pochodzenia organicznego, lub czysto czynnościowego. U jednych osób spotyka się oddechy płytkie, nieregularne i częste, u innych są one głębsze, miarowe i rzadsze. Niekiedy pojawia się oddychanie okresowe, względnie pogłębienie co pewien określony czas jednego wdechu, jako t. zw. „ponawianie westchnień" autorów francuskich, lub jako wyraz zaburzeń na tle anoksemji, powstałej wskutek nagłej zmiany warunków oddechowych, względnie jako przejaw zmęczenia ośrodka odruchowego — jeszcze przed osiągnięciem maksymalnej wentylacji.



Rys. 3. p. d. — 5,0 l; p. o. — 3,3 l; pow. odd. — 700 cm^3; $\frac{\text{p. o.}}{\text{p. d.}} = 66\%$; wsp. pob. odr. = 4,7.

U chorych, zwłaszcza na choroby układu oddechowego, prawie stale wielkość powietrza oddechowego jest bardzo duża, często równa poj. odruchowej, jako wyraz utraty przez tkankę płucną elastyczności, lub przeszkód w drogach oddechowych, wzgl. niedomogi ośrodka oddechowego. Te wahania w wielkości normalnej wentylacji każą przypuszczać istnienie pewnej „optymalnej wartości" dla powietrza oddechowego, różnej u poszczegól-

nych osobników. Ćwiczenia cielesne pogłębiają i zwalniają rytm oddechowy, ponieważ jednak mają na celu w pierwszym rzędzie zaprawę mięśniową, mogą stanowić niebezpieczeństwo przetrenowania oddechowych ośrodków, układ bowiem nerwowy osiąga przy treningu szybciej swoje „optimum", niż układ mięśniowy. Przetrenowanie odruchowych ośrodków oddychania powoduje trwały, nadmierny wzrost wentylacji płucnej, mogący w następstwie doprowadzić do rozedmy.

Przejściu fazy normalnego oddychania w okres maksymalnej wentylacji towarzyszy wzrost amplitudy i częstości ruchów oddechowych. Wzrost ten może być u jednych stopniowy i powolny, u drugich szybki, zaczynający się od początku próby, u innych wreszcie może odbywać się „stopniami". Przyczyny tych różnic trzeba się doszukiwać w nienormalnej pobudliwości ośrodków oddechowych na tle chwiejności układu współczulnego i okołowspółczulnego, pozostającej często w łączności z zaburzeniami przemiany materji i równowagi kwasozasadowej. Normalnie przyspieszenie rytmu następuje wolniej, aniżeli wzrost amplitudy, dochodząc pod koniec doświadczenia do 25 — 30 oddechów na minutę.

Okres maksymalnej wentylacji, w czasie którego oddychanie staje się już zupełnie niezależne od woli badanego, jest wyrazem przystosowania się danego układu oddechowego do nadmiernych wysiłków. Amplituda osiąga najwyższy poziom, na którym utrzymuje się normalnie do końca, natomiast częstość oddechów ulega nadal stopniowemu przyspieszeniu. Wielkość amplitudy oddechów określa wartość poj. odruchowej, a czas trwania tego okresu daje miarę wytrzymałości oddechowej ośrodków odruchowych w warunkach ostrej kwasicy gazowej. Pojemność odruchowa jako wyraz sprawności ośrodków odruchowych, stanowi podstawę fizjologicznej oceny płuc. Na jej zmniejszenie wpływają, poza zmniejszoną poj. dowolną, te wszystkie czynniki, które powodują niewydolność ośrodków odruchowych, jak ogólne wyczerpanie, anemja, zasiedziały tryb życia, alkaloza, astenja i t. p. Przeciętnie u osobników zdrowych nie wykazujących żadnych zaburzeń oddechowych, poj. odr. wynosi od 2,0 do 2,5 l.

W miarę trwania doświadczenia, gromadzący się stopniowo CO_2 wywołuje objawy duszności, które zmuszają badanego do przerwania próby. Niekiedy na pierwszy plan wysuwają się obja-

wy niedoboru tlenowego, przejawiające się w okresowości oddychania i stopniowym spadku wentylacji aż do zamartwicy. U przewlekłych anoksemików, u których wskutek przyzwyczajenia się do niedoboru tlenowego i braku sygnału ostrzegawczego w formie duszności, czas próby staje się często nadmiernie długim, niebezpieczeństwo asfiksji jest znacznie większe. W takich razach jest konieczna kontrola tętna, które może wykazać odchylenia tak w częstości, jak i w napięciu, jakich się nie spotyka u osób całkowicie zdrowych.

Dane, otrzymane drogą tego rodzaju analizy każdego poszczególnego spirogramu, pozwalają przez zestawienie uzyskanych wartości ocenić dokładnie fizjologiczną sprawność układu oddechowego. Jednem z nich jest wprowadzony przez *Goiffona, Parenta* i *Waltza* wskaźnik procentowego wykorzystania przez poj. odr. pojemności dowolnej, który określa w jakim stopniu badany osobnik wykorzystuje podczas próby duszności swoje anatomiczne możliwości. U osób zdrowych o prawidłowem wykorzystaniu poj. dow. powinien wynosić od 50% wzwyż, cyfry niższe wykazują zazwyczaj czynnościowe zaburzenia ośrodków odruchowych, przyczem jednak bezwzględna wartość poj. dow. musi być zawarta w granicach, uznanych za „normę”. Przy zmniejszonej poj. dow. nawet u chorych wykorzystanie jej może dochodzić do 90%.



Rys. 4. p. d. — 4,3 l; p. o. — 2,8 l; pow. odd. — 1200 cm³; $\frac{\text{p. o.}}{\text{p. d.}} = 65\%$; wsp. pob. odr. = 2,3.

Wychodząc z założenia, że praktycznie największe znaczenie posiada dla ustroju powietrze oddechowe i poj. odruchowa, będąca powietrzem oddechowem w czasie nadmiernego wysiłku, jako pojęcie dynamiczne, określające stopień osiągalnego wzmożenia wentylacji w największej potrzebie ustroju, porównywałem poj. odruchową z pow. oddechowem, uzyskując wskaźnik odruchowej pobudliwości, wahający się u osób z niedostateczną czynnością płuc mniej więcej od 1 do 2,5, u osób z prawidłową pobudliwością od 3 do 6. Niski stosunkowo współczynnik pobudliwości wykazują często sportowcy. Ćwiczenia bowiem cielesne, a w szczególności sporty zmniejszają pobudliwość odruchowych ośrodków, doprowadzając nieraz do „przetrenowania" układu nerwowego. To też w lekarskiej kontroli sportowców powinno się zwracać baczną uwagę na oddechową ruchomość płuc i wielkość poj. dow. oraz współczynnika pobudliwości, których zmniejszenie się sygnalizuje niebezpieczeństwo powstania rozedmy.



Rys. 5. p. d. — 3,6 l; p. o. — 2,1 l; pow. odd. — 600 cm³; $\frac{\text{p. o.}}{\text{p. d.}} = 58\%$; wsp. pob. odr. = 3,5.

Ocenę przypuszczalnej wartości całego układu oddechowego, którąby obejmowała liczbowo zarówno istniejącą sprawność ośrodków odruchowych, jak i oddechowe możliwości, określone wielkością poj. dowolnej można uzyskać, mnożąc współczynnik pobudliwości przez procentowe wykorzystanie poj. dowolnej. Otrzymany iloczyn przynajmniej w przybliżeniu ułatwi orjentację w szerokiej skali fizjologicznych możliwości układu oddechowego. Żaden jednak wskaźnik, ani współczynnik nie obejmie tych wszystkich szczegółów i nie określi tych nieznacznych odchyleń, jakie odtwarza bezpośrednie spostrzeganie każdego wykresu.

Dla przykładu przytaczam poniżej krótką analizę kilku wykresów, uzyskanych od osób naogół zdrowych z prawidłową czynnością oddechową.

Spirogram na rys. 1 wykazuje doskonałą sprawność fizjologiczną płuc. Poj. dowolna przedstawia wprawdzie wartość raczej przeciętną, ale duża poj. odruchowa wykorzystuje w 76% anatomiczne możliwości. Wysoki współczynnik pobudliwości i stosunkowo długi okres oddychania maksymalną wentylacją świadczą o szerokiej rozpiętości reakcji odruchowej i dużej wytrzymałości oddechowej. Równy, średnio głęboki oddech, normalny, stopniowy i powolny wzrost amplitudy, brak wybitniejszego przyspieszenia oddechów przemawiają za dobrą oddechową zaprawą.

Wykres na rys. 2 jest w ogólnym zarysie podobny do poprzedniego, ale różny w szczegółach. Ta sama poj. dow. jest wykorzystana w nieco mniejszym stopniu, jednak współczynnik pobudliwości i czas trwania okresu poj. odr. wykazują bardzo dobrą sprawność ośrodków odruchowych.

Normalny oddech jest nieco płytszy i częstszy, ale miarowy i równy, o stopniowem narastaniu amplitudy.

Odmiennie przedstawia się analiza wykresu na rys. 3. Olbrzymia wprost poj. dow. jest wykorzystana tylko w dwóch trzecich. Szybkie przerwanie próby po osiągnięciu pojemności odruchowej i widoczna okresowość oddychania przemawia za łatwem wyczerpaniem ośrodków odruchowych, być może wywołanem niedostateczną wentylacją płuc, na co wskazuje niska w stosunku do bardzo dużej poj. dow. wielkość powietrza oddechowego. Jednak te odchylenia są tak niewielkie, że, biorąc pod uwagę całość wykresu, należy zaliczyć sprawność płuc do prawidłowej.

Przeciwieństwem omówionego wykresu jest wykres na rys. 4, jakkolwiek punkt wyjścia (przeszło 4-litrowa poj. dow.) jest prawie identyczny. Faza pierwszych oddechów, których głębokość może być regulowana dowolnie, przechodzi stopniowo w okres oddychania wyłącznie odruchowego i na tym poziomie utrzymuje się dość długo, osiągając znaczną wielkość poj. odr., która jednak wykorzystuje anatomiczne możliwości zaledwie w 65%. Stopniowy i równomierny wzrost wentylacji oraz długie utrzymywanie się jej na najwyższym poziomie wykazują dobre przystosowanie się płuc do nadmiernych wysiłków. Pewne zastrzeżenia może budzić zbyt wielkie pow. oddechowe, prawie

o połowę większe, niż na wykresie poprzednim, cechujące zresztą dość znaczny odsetek sportowców. Narazie może to wyrażać tylko pewne stonizowanie ośrodków nerwowych oddychania, nie wywierające większego wpływu na sprawność układu oddechowego, czasem jednak zwłaszcza przy nieracjonalnem uprawianiu sportu, może dojść do znaczniejszego obniżenia pobudliwości ośrodków odruchowych i w następstwie do niewydolności układu oddechowego.

Wykres na rys. 5 jest prawie charakterystyczny przez swoją „przeciętność", gdyż poj. dow. wykorzystana jest przeciętnie. Poj. odr. jest również przeciętna, jedynie współczynnik pobudliwości odruchowej jest nieznacznie obniżony, wykazując możliwość istnienia jakichś przeszkód w drogach oddechowych.

Rytm oddechowy i narastanie amplitudy oraz czas trwania próby nie wykazują także żadnych odchyleń od „normy". W sumie powyższy wykres pozwala uznać fizjologiczną sprawność płuc za dostateczną.

Już tych kilka spirogramów świadczy o dużej praktycznej wartości próby *Goiffona,* która z jednej strony stwarza płucom coraz to inne warunki pracy i stawia coraz to nowe wymagania od najłatwiejszych do najtrudniejszych, z drugiej strony, pozwala utrwalić graficznie stopień i jakość przystosowania się do nich. Każdy otrzymany wykres ma „własne oblicze", zupełnie różne w szczegółach od innych, stanowiąc jakby dowód tożsamości układu oddechowego danego osobnika, pozwalający objektywnie na dokładną i wszechstronną ocenę czynności płuc. Podstawę tej oceny stanowi wartość poj. odruchowej, jako najlepszy wyraz istotnego stanu odruchowych ośrodków oddechowych, decydujących o biologicznej korzyści oddychania.

Toteż próba duszności, wywołanej w zamkniętej przestrzeni, powinna znaleźć zastosowanie nietylko w badaniach fizjologicznych, ale i w klinice. Może ona dostarczyć również wielu cennych wskazówek przy selekcji kandydatów do lotnictwa, w poradniach sportowych i instytutach wychowania fizycznego. Ani bowiem określanie poj. dow., ani wartość normalnej wentylacji, ani próba bezdechu nie są w stanie oświetlić tak dokładnie swoistej dla każdego osobnika oddechowej dynamiki oraz jej biologicznego napięcia i przystosowania, jak to umożliwia próba dusz-

ności przez obserwację oddychania w ramach ostrej kwasicy gazowej i określenie maksymalnej wentylacji, która, zestawiona z poprzedniemi wartościami, stanowi istotny wskaźnik fizjologicznej sprawności płuc.

PIŚMIENNICTWO.

Achard et Binet. Examen fonctionnel du poumon. Paryż 1922.

Binet L. Ventilation poulmonaire, Traité de physiologie normale et pathologique. *V.* Str. 60. Paris 1934.

Dautrebaude L. Les échanges gazeux. Traité de physiologie normale et pathologique. *V.* Str. 121. Paris 1934.

Goiffon R. La capacité vitale réflexe. Sa mesure, ses rapports avec la capacité volontaire. C. R. Soc. Biologie. *99.* Str. 188. 1928.

Goiffon R. et Parent R. Examen fonctionnel de la ventilation pulmonaire au moyen d'un spiromètre a re — respiration. C. R. Soc. Biol. 1931 C VIII, str. 486.

Goiffon R. et Parent et Waltz J. „L'épreuve d'hyperpnée provoquée en espace clos — son aplication chez le normal. Presse médicale, N. 57. 1932. Str. 1113.

Goiffon R. et Parent R. et Waltz J. Études de spirométrie clinique. L'épreuve de dyspnée provoquée en espace clos. Annales de médecine. *35.* Str. 362. 1934.

Goiffon R. et Parent R. et Waltz J. „L'épreuve de dyspnée provoquée en espace clos. Étude physio-pathologique. Annales de médecine. *36.* Str. 57. 1934.

Gorecki Z. O duszności. Zagadnienie wentylacji płucnej. Lwów 1927.

Gorecki Z. Parę uwag o zachowaniu się CO_2 w powietrzu pęcherzykowem. Pol. Gaz. Lek. Nr. 43 1927.

Grochmal St. O odruchowej pojemności życiowej płuc i jej wartości fizjologiczno-klinicznej. Nowiny Lek. Sierpień 1935.

Haldane J. S. Oddychanie. Warszawa 1927.

Missiuro W. Współczesne metody selekcji lotników. Medycyna Nr. 21, 22, 23. 1928.

Missiuro W. O programowych zagadnieniach studjów badawczych w wychowaniu fizycznem. Wychow. Fizycz. Zesz. 11—12. 1933.

Reicher E. O działaniu ćwiczeń cielesnych na ustrój ludzi zdrowych i chorych. Warszawa 1932.

Szydłowski Z. Badanie wytrzymałości oddechowej. Przegląd Sportowo-Lekarski. *I.* Zesz. 1. 1929.

Zbyszewski L. Mechanizm oddychania. Podręcznik Fizjologji pod red. A. Becka. *II.* 1924. Str. 158.

Na podstawie materjału oddziału żeńskiego C. I. W. F.
w r. 1931 — 1935.

Wanda Czarnocka-Karpińska.

PRZYCZYNEK DO ZAGADNIENIA WPŁYWU ĆWICZEŃ FIZYCZNYCH NA MIESIĄCZKOWANIE.

Ein Beitrag zum Problem des Einflusses der Leibesübungen auf die Menstruationserscheinungen.

Die Frage nach dem Einfluss der Leibesübungen auf den menschlichen, insbesondere den weiblichen Organismus ist bisher noch nicht genügend geklärt worden.

Wichtige Hinweise auf die Frage, wie der weibliche Organismus auf die Leibesübungen, ihre Art und Intensität reagiert, dürften wir jedoch der Beobachtung des Verlaufs der Menstruation bei den übenden Frauen entnehmen.

In vielen einschlägigen Arbeiten gelengen die Autoren zu dem übereinstimmenden Ergebniss, dass mässig getriebene Leibesübungen auf den Verlauf der Menstruation bei den physisch nicht arbeitenden Frauen einen günstigen Einfluss ausüben. Dieser Einfluss äussert sich in der Verringerung der Beschwerden, des Blutverlustes, sowie in der Kürzung der Blutungszeit. Amenorrhoea und Metrorrhagia werden als Folge von Uebertrainierung und Ueberlastung mit Berufsarbeit betrachtet.

Die vorliegende Arbeit beruht auf zweijähriger Beobachtung von 155 Hörerinnen des C.I.W.F. Für jede einzelne von ihnen wurde ein besonderer Fragebogen geführt, in den alle charakteristischen Momente der Menstruation: Datum, Dauer, Beschwerden und Blutverlust, von der dienstführenden Aerztin eingetragen wurden. Auf demselben Bogen wurden ferner Da-

---

W obliczeniach statystycznych pomagała Dr. Alina Zawadzka.

ten über den Verlauf der Menses vor dem Eintritt in das Institut notiert. Auf Grund dieser Fragebogen wurden nun zweierlei Diagramme hergestellt und zwar individuelle Diagramme für jede einzelne Person, sowie kollektive Diagramme für die folgenden vier Gruppen: Jahrgang 1931/33 — 51 Personen, 1932/34 — 33 Personen, 1933/35 — 36 Personen und 1934/36 — 35 Personen.

Die Hörerinnen des Instituts, lauter junge und gesunde Frauen im Alter von 18 — 25 Jahren, haben im Verlauf ihrer zweijährigen Studien mit ziemlich schweren Arbeitsbedingungen zu tun. Intensive Geistesarbeit mit physischen Uebungen verbunden nimmt insgesamt 3129 Stunden in Anspruch. Die Leibesübungen nehmen täglich: im ersten Jahrgang 2 — 3 Stunden, im zweiten zirca 2 Stunden ein. Skifahren, Schwimmen und Rudern werden auf speziellen Kursen ausserhalb des Instituts gelehrt. Dagegen wird im Institut selbst der Unterricht des Turnens, der Leichtathletik, der Sportspiele, der Bewegungsspiele, der Volkstänze u. s. w. gleichzeitig geführt.

Mit Rücksicht auf die Meinungsverschiedenheit der Spezialisten sowie das Schwanken in der Lösung der betreffenden Frage in verschiedenen Ländern, wurden menstruirenden Frauen Leibesübungen weder verboten, noch anempfohlen. Nur 12 Personen (7,7%) haben während der Menstruation regelmässig geübt.

Um festzustellen, wie die intensiven Leibesübungen auf den Verlauf der Menstruation einwirken, wurden die Fragebogen jener Hörerinen, die bereits vor dem Eintritt in das Institut systematisch geübt haben, ganz ausseacht gelassen. Infolgedessen sind 104 Fragebogen übriggeblieben und zwar jener Hörerinen, die vorher in der Mittelschule nur drei bis vier Stunden wöchentlich Leibesübungen mitgemacht haben.

Das so gewonnene Material wurde nun je nach dem Verlauf der Menstruation vor dem Studium im C. I. W. F. in vier Gruppen eingeteilt:

A) Hörerinen mit regelmässigem Menstruationsverlauf, d. h. jede 28 Tage, mit mittlerem Blutverlust, ohne nennenswerte Menstruationsbeschwerden. Diese Gruppe ist am zahlreichsten; sie zählt 72 Personen, d. i. 69,3%.

B) Hörerinen mit regelmässigem Menstruationsverlauf, jedoch mit verschiedenem Menstruationszyklus je 21, 25, 30 und 32 Tage. 17 Personen d. i. 16,3%.

C) Hörerinen mit unregelmässigem Menstruationsverlauf. 15 Personen d. i. 14,4%.

D) Hörerinen mit verschiedenen Menstruationsbeschwerden.

E) Eine besondere Aufmerksamkeit wurde jenen 12 Hörerinen gewidmet, die während der Menstruation Leibesübungen regelmässig mitgemacht haben.

Innerhalb jeder von diesen Gruppen wurden die Aenderungen des Zyklus, der Blutmenge, der Beschwerden und der Dauer der Menstruation während des Studiums im Institut besonders untersucht.

In allen Gruppen ist das Ergebnis der Beobachtung ziemlich einheitlich und lässt sich folgendermassen zusammenstellen:

1) Intensive, durch längere Zeit systematisch getriebene Leibesübungen, haben einen beträchtlichen Einfluss auf den Menstruationsverlauf. Sie führen zu Zyklusstörungen mit einer deutlichen Tendenz zu dessen Verlängerung und zwar unabhängig davon, wie er sich früher gestaltete und ob er regelmässig verlief. Die Verlängerung des Zyklus führt in 40% zu Amenorrhoea von 40 zu 185 Tagen;

2) der Einfluss der Leibesübungen betrifft die Menstruationsbeschwerden und die Blutmenge nur ganz gering, viel stärker jedoch die Blutungszeit;

3) die Zyklusstörungen entstehen gleich in den ersten Monaten des Unterrichts im Institut, nach vorübergehenden Schwankungen steigern sie sich im Verlauf von zwei Unterrichtsjahren;

4) sowohl bei Personen mit normalem Menstruationsverlauf, wie bei denjenigen die vorher auf Menstruationsbeschwerden litten, wurde eine Neigung zur Verringerung der Menstruationsbeschwerden und der Blutverluste beobachtet;

5) die Blutungszeit verlängert sich allmählich im Verlaufe von zwei Studienjahren, insbesondere bei Personen, die während der Menstruation an Leibesübungen teilnehmen;

6) intensive, durch längere Zeit während der Menstruation getriebene Leibesübungen geben keinen guten Erfolg, in dem ersten wird die Blutungsdauer verlängert, im zweiten Studienjahre kommt es zu Amenorrhoea;

7) zur Zeit der Prüfungen und der gesteigerten Geistesarbeit, kommt es zu Zyklusstörungen und zwar zur Verkürzung des Zyklus;

8) der weibliche Organismus reagiert ungünstig auf intensive, durch längere Zeit getriebene Leibesübungen und verlangt eine Graduierung der Anstrengungen.

Die bisherigen Untersuchungen erlauben noch nicht Schlüsse auf die Dauerhaftigkeit der beobachteten Menstruationsveränderungen zu ziehen. Es gilt jedoch die grundsätzliche Frage zu beantworten, ob es überhaupt angehet, durch körperliche Erziehung im Organismus Störungen hervorzurufen, wenn sie auch nur vorübergehend sein sollten.

Zagadnienie wpływu ćwiczeń fizycznych na ustrój ludzki — pomimo licznych prac — nie jest dotąd dostatecznie wyjaśnione. Zwłaszcza zmiany i reakcje ustroju kobiecego przedstawiają jeszcze wiele niewytłumaczonych zjawisk i są nieraz powodem sprzecznych wniosków i wyników prac (np. *Westmanna, Sellheima* i *Hildegardy Casper.)*.

Dużo wskazówek i wyjaśnień, jak reaguje ustrój kobiecy na ćwiczenia fizyczne, ich rodzaj i natężenie — powinna dać obserwacja przebiegu miesiączkowania kobiet ćwiczących.

Wiemy, że prawidłowy przebieg miesiączkowania zależy od wielu czynników i jest wyrazem harmonijnej czynności całego ustroju kobiecego.

Wiemy również, jak łatwo i szybko reaguje ustrój kobiecy zmianą przebiegu miesiączkowania na bodźce różnego rodzaju zarówno natury nerwowej, psychicznej i pracy fizycznej.

Zagadnienie wpływu ćwiczeń fizycznych na miesiączkowanie było omawiane przez licznych autorów w ostatniem dziesięcioleciu.

Michaelsen, Düntzer, Runge, Schöppe i *Lölhöffel* dochodzą do zgodnych wniosków, że ćwiczenia fizyczne, stosowane umiarkowanie, wpływają korzystnie na przebieg miesiączkowania u kobiet, wiodących siedzący tryb życia. Wpływ ten wyraża się w zmniejszeniu dolegliwości, mniejszej obfitości i skróceniu czasu trwania krwawienia. *Mosher* przy badaniu instruktorek amerykańskich i Londyński Związek Lekarek przy badaniu 6099 uczenic otrzymują podobne wyniki. Nie notują zaburzeń miesiączkowania przy umiarkowanych ćwiczeniach. *Lölhöffel* podaje nawet, że w przypadkach dysmenorrhoeae u kobiet bez

organicznych zmian, a wiodących siedzący tryb życia, krótkotrwające o małem natężeniu ćwiczenia fizyczne podczas miesiączkowania mogą być środkiem leczniczym. Wszyscy autorzy zgodnie stwierdzają, że nadmierne obciążenie ćwiczeniami fizycznemi (wymieniają przytem ćwiczenia wytrzymałościowe, szybkościowe, wstrząsy i pływanie z uwzględnieniem wpływu niskiej temperatury wody) wywołuje zaburzenia miesiączkowania, a specjalnie podkreślają, że amenorrhoea i metrorrhagia są skutkiem przetrenowania i przeciążenia pracą zawodową.

Niestety, większość przytoczonych prac opiera się na materjale zebranym drogą ankiety lub krótkotrwałych obserwacji i wywiadów.

Zagadnienie zaburzeń miesiączkowania było omawiane na Międzynarodowym Zjeździe Zrzeszeń Lekarek w Sztokholmie w r. 1934.

Tabl. I przedstawia dane tego Zjazdu, z których wynika, że pod wpływem ćwiczeń fizycznych zmniejsza się ilość zaburzeń miesiączkowania. Nie podano, niestety, jakiego rodzaju są te zaburzenia.

TAB I.

Zaburzenia miesiączkowania.
Die Menstruationsstörungen.

W Niemczech —	55,7%	dziewcząt szkolnych.
	47,3%	pracownic biurowych uprawiających nieco sportu.
	43,9%	studentek, trenujących 1 rok.
	42,0%	„ ćwiczących stale.
	33,0%	kobiet wysportowanych (członkiń klubów sport.).
	32,5%	„ „ — pływaczek.
	32,0%	słuchaczek Wyższej Szkoły W. F.
„ Danji —	38,3%.	
„ Szwecji —	32,0%.	
w Norwegji —	23,1%.	

(Według sprawozdania Dr. *M. Skokowskiej-Rudolfowej* „Zdrowie Publiczne” 1935 r. Nr. 5.

Ze znanych mi polskich prac — *Dybowska* pisała o zaburzeniach miesiączkowania na kursie narciarskim, zbyt intensywnie prowadzonym, i — *Škerlj.* Praca jego, chociaż drukowana w czasopiśmie niemieckiem (Zeitschrift für Rassenkunde) w bieżącym roku, oparta jest na materjale naszym, t. j. na obserwacji jednego rocznika żeńskiego C. I. W. F. (36 osób). Stwierdza

on przedłużenie okresu z jednoczesnem przedłużeniem czasu i zwiększoną obfitością krwawienia.

W moich badaniach oparłam się na materjale, pozostawionym przez Dr. *Budkiewiczównę,* dotyczącym rocznika 1931/33 (studjum dwuletnie) i zebranym przezemnie dla roczników 1932/34, 1933/35 i 1934/36. Materjał ten obejmuje dane co do 155 słuchaczek C. I. W. F. Są to dziewczęta i kobiety zamężne (3%) w wieku od 18 do 25 lat, zdrowe, przebywające w Instytucie przez 22 miesiące. Warunki ich pracy można określić jako dosyć ciężkie — połączenie intensywnej pracy umysłowej z fizyczną, ujętej w program zbyt obszerny (3129 godzin) na okres studjów dwuletnich.

Ćwiczenia fizyczne zajmują 2 do 3 godzin dziennie w I roku i około 2 godzin dziennie w drugim roku studjów. Jeżeli chodzi o rodzaj ćwiczeń — jedynie narciarstwo, pływanie i wioślarstwo nauczane są w ściśle określonym czasie i na specjalnych obozach, pozatem podczas pobytu w Instytucie jednocześnie nauczana jest gimnastyka, lekka atletyka, gry sportowe i zabawy ruchowe, tańce ludowe i t. d.

Sprawa ćwiczeń podczas miesiączkowania — wobec rozbieżnych zdań specjalistów i odmiennych zwyczajów w różnych krajach — rozwiązana jest w ten sposób: po omówieniu na specjalnej pogadance higjenicznej znaczenia dla ustroju kobiecego procesu miesiączkowania i zaburzeń, które mogłyby być skutkiem ćwiczenia podczas miesiączkowania — nie stosuje się ani zakazu, ani przymusu ćwiczenia w tym okresie.

Znaczna większość słuchaczek nie ćwiczy przez pierwszy lub dwa pierwsze dni, niektóre przez cały czas trwania miesiączki. Tylko dwanaście osób (7,7%) nie przerywało ćwiczeń wcale.

Przymusu badania ginekologicznego niema przy wstąpieniu do Instytutu, podczas zaś studjów przy wystąpieniu najmniejszych objawów chorobowych ze strony narządów rodnych, słuchaczki badane są ginekologicznie przez lekarkę-specjalistkę.

Dane z przebiegu miesiączkowania zapisywane są przez lekarkę na specjalnych kartach i dotyczą daty, czasu trwania, obfitości i bolesności każdej miesiączki. Na tej samej karcie notuje się przebieg miesiączkowania danej osoby przed wstąpieniem do Instytutu. Następnie przedstawia się wykreślnie dla każdej osoby przebieg miesiączkowania przez cały czas pobytu w Instytucie, potem dla każdego rocznika sporządza się zestawienie

przebiegu miesiączkowania w funkcji czasu. Na podstawie tego zestawienia można już bezpośrednio określić średnią długości kolejnych okresów i stwierdzić zmiany w przebiegu miesiączkowania.

Przyjmując, że prawidłowy (i najczęściej spotykany w naszych warunkach klimatycznych) okres wynosi 28 dni, zaś średnia ilości dni w miesiącu 30, otrzymujemy spółczynnik częstości miesiączkowania w jednym miesiącu dla jednej osoby a=1,07 (30:28 = a:1). Jeżeli ilość osób wynosi n, to w danym miesiącu powinno być miesiączek k=n.a (norma dla danej grupy).

W ten sposób zostały sporządzone wykresy dla rocznika 1931/33 — 51 osób, 1932/34 — 33 osób, 1933/35 — 36 osób i 1934/36 — 35 osób, oraz wykresy dla wyodrębnionych grup słuchaczek z ostatnich dwuch roczników (po 20 osób w grupie), u których okres rzeczywiście wynosił 28 dni przed wstąpieniem do Instytutu.

Wykresy te pokazują ilość miesiączek każdej grupy w poszczególnych miesiącach oraz odchylenia od normy. (Liczba większa od normy dla danej grupy oznacza skrócenie okresu, liczba poniżej normy — wydłużenie okresu).



Rys. 1. Ilość miesiączek w poszczególnych miesiącach.
Rocznik 1933/35 — 36 osób.

Fig. 1. Anzahl der Menstruationen in einzelnen Monaten.
Jahrgang 1933/35.

Na wszystkich, w ten sposób sporządzonych wykresach stwierdzamy, że okresowość wykazuje znaczne wahania i zmiany, że tylko w znikomej ilości miesięcy ma przebieg prawidłowy, że ulega znacznym skróceniom i wydłużeniom. Stwierdzić też można wyraźną tendencję do przedłużenia okresu w drugim

roku studjów i skrócenia okresu w miesiącach, odpowiadających terminom egzaminów.

Wykresy, sporządzone w podany wyżej sposób, poza ogólnemi danemi co do okresowości w poszczególnych miesiącach, nie dają jednak dokładnego wyobrażenia o przebiegu miesiączkowania.

Mojem zadaniem było sprawdzenie czy dwuletnie studja w C. I. W. F., gdzie słuchaczki ćwiczą systematycznie, jak na kobiety dosyć intensywnie, wpływają na przebieg miesiączkowania i w jaki sposób.

Oczywistą jest rzeczą, że podczas studjów w Instytucie wiele czynników może wpływać na taką lub inną reakcję ustroju kobiecego, np. praca umysłowa, stany przepracowania i zwiększonej pobudliwości nerwowej podczas egzaminów, życie towarzysko-koleżeńskie i t. d. Czynniki takie musiały już oddziaływać na większość badanych słuchaczek przed ich wstąpieniem do Instytutu (szkoła średnia, zwłaszcza okres matury, studja wyższe). Czynnikiem nowym jest systematyczne uprawianie ćwiczeń fizycznych, o ile z pośród badanych słuchaczek wyeliminujemy te, zresztą bardzo nieliczne, które uprzednio ćwiczyły systematycznie poza szkołą średnią.

Z ogólnej liczby 155 kart osób badanych po wyeliminowaniu kart tych słuchaczek, które uprzednio ćwiczyły lub też nie miały zanotowanego przebiegu miesiączkowania przed wstąpieniem do Instytutu, i jednej słuchaczki, u której wskutek niedorozwoju narządów rodnych wogóle miesiączkowanie nie wystąpiło ani przed, ani przez cały czas pobytu w Instytucie, pozostało 104 karty i wykresy indywidualne.

Cały ten materjał podzieliłam na cztery grupy zależnie od przebiegu miesiączkowania przed studjami w C. I. W. F.:

A) grupa słuchaczek o prawidłowym przebiegu miesiączkowania, t. j. co 28 dni, średnio obfitem, bez większych dolegliwości; jest to grupa najliczniejsza — 72 osoby — 69,3%;

B) grupa słuchaczek o regularnym przebiegu miesiączkowania, lecz o innym cyklu — co 21, 25, 30 i 32 dni; 17 osób — 16,3%;

C) grupa słuchaczek o nieregularnym przebiegu miesiączkowania; 15 osób — 14,4%;

D) słuchaczki, które cierpiały na różne dolegliwości podczas miesiączkowania;

E) specjalną uwagę zwróciłam na grupę, nieliczną zresztą, słuchaczek, które ćwiczyły stale podczas miesiączkowania — 12 osób.

W każdej z tych grup osobno badałam, jak się zmieniają objawy co do okresowości, obfitości, bólów i czasu trwania miesiączkowania podczas pracy w Instytucie.

Wynik obserwacji we wszystkich czterech grupach był dosyć jednolity.

Ad A) Na wykresach pomocniczych, sporządzonych dla każdego rocznika, stwierdzamy znaczne zaburzenia okresowości, poczynając od pierwszych miesięcy pracy w Instytucie. Przebieg i charakter zmian okresu jest podobny, a mianowicie: dla wszystkich roczników stwierdzamy stosunkowo mały odsetek słuchaczek, u których okres pozostał bez zmian, w niektórych miesiącach (rocznik 1933/35) odsetek ten wynosi 0. Skrócenie okresu, przeważnie w I roku, dochodzi do 70%, największy odsetek zmian okresowości z przedłużeniem okresu dochodzi do 94%.

TAB. II.

Zmiany okresowości.

Die Zyklusänderungen.

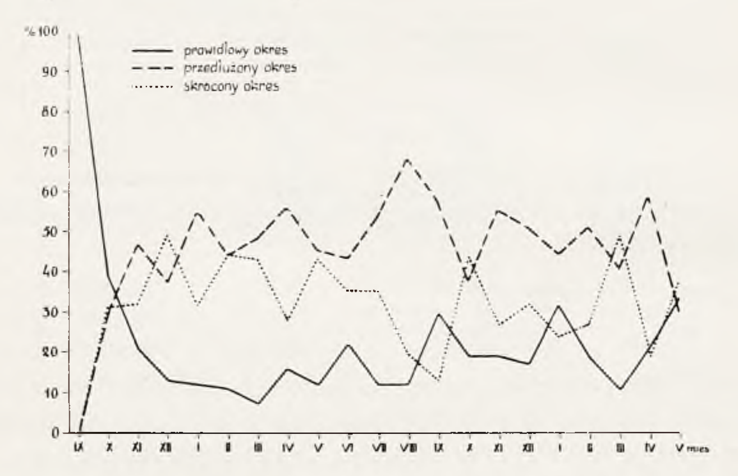
Rocznik *Jahrgang*	Okres bez zmian *Z. unverändert*	Skrócenie okresu *Z. verkürzt*	Przedłużenie okr. *Z. verlängert*
1932/34	21,4%	24,2%	52,5%
1933/35	15,5%	34,7%	49,7%
1934/36	17,2%	47,7%	35,0%

Liczby oznaczają średnią dla 22 miesięcy procentową ilość słuchaczek każdego rocznika.

Na wykresie 2, sporządzonym na podstawie liczb średnich w odsetkach (dla roczników 1932/34, 1933/35 i 1934/36), widzimy, jak mały odsetek słuchaczek w przeciągu dwuletniej pracy zachowuje okresowość bez zmian. Stwierdzamy również wyraźną tendencję do przedłużenia okresu. Jest to potwierdzeniem wniosku, wysnutego na podstawie wykresu 1, pomimo to, że wykres 1 sporządzony był w sposób odmienny.

Studjując karty i wykresy indywidualne oraz zestawienia wykreślne dla roczników, widzimy, że przedłużenie okresu dochodzi w licznych przypadkach do hypo- i amenorrhoea:

wśród rocznika	1931/33	brak mies.	od 40 — 120 dni	u 14 osób, t. j.	27,4%
„ „	1932/34	„ „	od 40 — 150 dni	u 13 „	40,6%
„ „	1933/35	„ „	od 43 — 124 dni	u 19 „	52,8%
„ „	1934/36	„ „	od 42 — 185 dni	u 15 „	43,0%



Rys. 2. Zmiany okresowości.
Fig. 2. Die Zyklusveränderungen.

Ogółem dłuższej przerwie w miesiączkowaniu uległo 61 osób, t. j. 40,0%, z tego kilkakrotnym dłuższym przerwom 21 osób — 13,6%. W 13 przypadkach (8,4%) amenorrhoea od 54 do 185 dni zauważono nadmierne tycie: w tym czasie ciężar ciała zwiększał się od 1,2 do 4,2 kg. Towarzyszyły temu przykre objawy uderzenia krwi do głowy, zawroty i bóle głowy. We wszystkich tych przypadkach badanie ginekologiczne, dokonane przez specjalistkę, stwierdzało niedomogę jajników.

Na wykresie, przedstawiającym przeciętną częstość występowania hypo- i amenorrhoea w poszczególnych miesiącach, widać, że stosunkowo najczęściej występują one na początku studjów, w styczniu, kiedy nasilenie pracy jest duże, w sierpniu, t. j. po obozie letnim, poświęconym sportom wodnym, i pod koniec drugiego roku.

Tablica i wykres III przedstawiają wpływ ćwiczeń fizycznych na bolesność miesiączkowania. W grupie słuchaczek o prawidłowym i regularnym cyklu pewien odsetek słuchaczek miewał bóle (niezbyt silne) podbrzusza — pierwszego, czasem pierwszych dwuch dni, a niektóre przez cały czas trwania miesiączkowania (I r. — 15,6%, II r. — 20,0%, III r. — 50,0%).

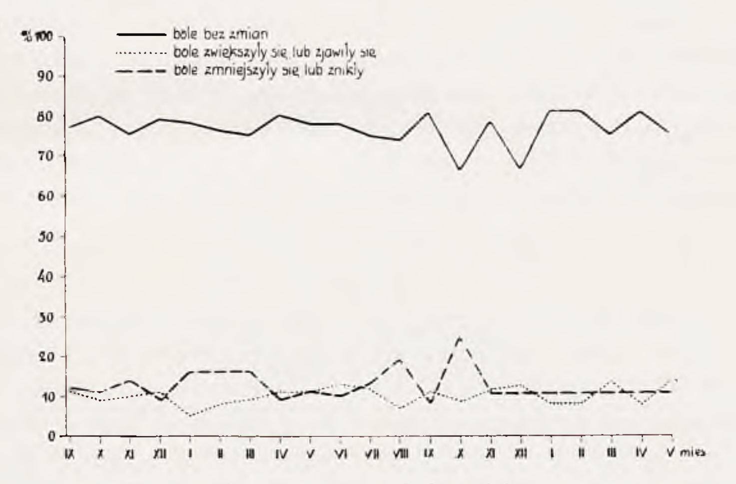
TAB. III.

Zmiany bolesności.

Menstruationsbeschwerden.

Rocznik *Jahrgang*	Bolesność bez zmian *Unverändert*	Zmniejszenie bol. *Besserung*	Zwiększenie *Verschlechterung*
1932/34	83,0%	4,5%	9,4%
1933/35	80,0%	12,3%	7,6%
1934/36	62,9%	23,7%	13,3%

Liczby oznaczają średnią dla 22 miesięcy procentową ilość słuchaczek każdego rocznika.



Rys. 3. Zmiany bolesności.

Fig. 3. Die Menstruationsbeschwerden.

Zwraca uwagę duży odsetek osób, u których przebieg miesiączkowania pod względem bolesności pozostał bez zmian (52 do 87% w poszczególnych miesiącach), bardzo mały odsetek osób, u których bolesność zwiększyła się — do 20%, i chociaż nieznaczna, a jednak zaznaczona w niektórych miesiącach, skłonność do zmniejszenia bolesności — do 33%. Odpowiada to wynikom prac autorów wyżej wymienionych.

Na obozach letnich przeważnie w pierwszych dniach ich trwania, notowane były przezemnie i koleżanki-lekarki występowanie bardzo silnych bóli krzyża i podbrzusza na dzień przed lub pierwszego dnia miesiączkowania u osób, które dotąd bólów nie miewały, lub znaczne nasilenie bólów u tych, które dotąd cierpiały na nieznaczne bóle.

Tablica i wykres IV przedstawiają wpływ ćwiczeń fizycznych na obfitość krwawienia podczas miesiączkowania. Wśród omawianej grupy słuchaczek nieznaczny odsetek miewał uprzednio obfite krwawienia: I r. — 37,4%, II r. — 0%, III r. — 15%.

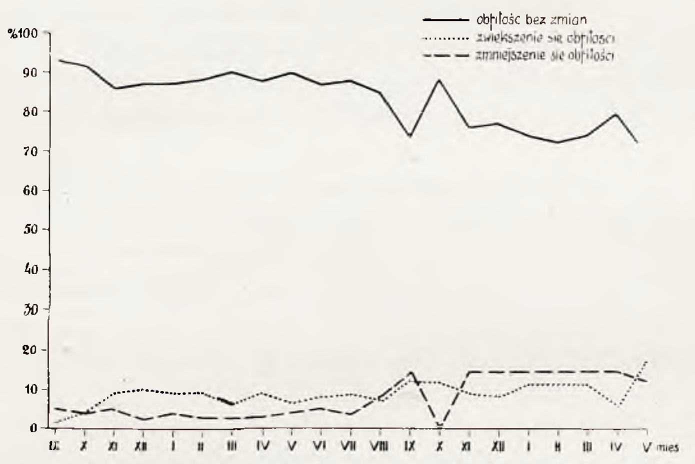
TAB. IV.

Zmiany obfitości krwawienia.

Die Blutverluste.

Rocznik *Jahrgang*	Obfitość krwawienia — *Der Blutverlust*		
	Bez zmian *Unverändert*	Zmniejszona *Verringert*	Zwiększona *Vermehrt*
1932/34	75,7%	14,6%	8,2%
1933/35	92,3%	0 %	7,6%
1934/36	85,4%	5,4%	9,1%

Największy odsetek miesiączkujących przez cały czas pobytu w Instytucie pod względem obfitości krwawienia pozostaje bez zmian: od 100 do 52%, zmniejszenie obfitości wykazuje nieznaczny odsetek, dochodzący do 29%, ilość osób, u których obfitość krwawienia zwiększyła się, w żadnym miesiącu nie przekroczyła 20%.



Rys. 4. Zmiany obfitości krwawienia.

Fig. 4. Die Blutverluste.

Na podstawie przytoczonych liczb można wyprowadzić wniosek, że intensywnie i systematycznie uprawiane ćwiczenia fizyczne nie wywołują wielkich zmian w nasileniu krwawienia. Zau-

ważyć nawet można pewną skłonność do zmniejszenia obfitości krwawienia w drugim roku studjów.

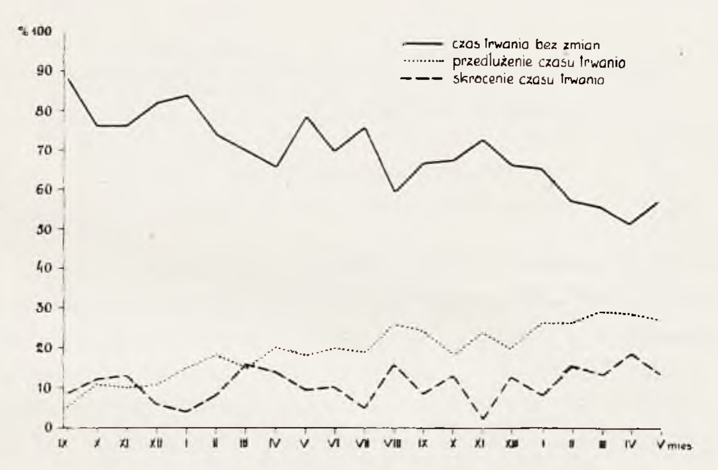
Tablica i wykres V przedstawiają zmiany czasu trwania miesiączki. Czas ten wynosił u badanych słuchaczek przed pracą w Instytucie przeważnie od 3 do 5 dni, wyjątkowo (2 osoby) — 2 dni lub (4 osoby) — 6 dni.

Czas ten u większości słuchaczek pozostaje bez zmian od 100 do 40% w poszczególnych miesiącach, skrócenie czasu miesiączki obserwujemy u nieznacznej ilości słuchaczek: od 0 do 25%, większy odsetek, bo od 0 do 45% stanowi ilość osób, u których czas trwania krwawienia uległ przedłużeniu.

TAB. V.

Zmiany czasu trwania miesiączki.
Die Blutungszeit.

Rocznik *Jahrgang*	Bez zmian *Unverändert*	Skrócenie *Verkürzt*	Przedłużenie *Verlängert*
1932/34	77,0%	8,2%	13,1%
1933/35	60,7%	14,2%	25,0%
1934/36	75,4%	7,2%	16,6%



Rys. 5. Zmiany czasu trwania miesiączki.
Fig. 5. Die Blutungszeit.

Przedłużenie czasu trwania krwawienia zauważyć można w miesiącach zimowych podczas kursów narciarskich, w sierpniu, t. j. w następnym miesiącu po obozie letnim i w miarę trwania studjów, zwłaszcza w drugim roku.

Ad B) W grupie słuchaczek (17 osób — 16,3% tych, które uprzednio nie ćwiczyły systematycznie) — o regularnym przebiegu miesiączkowania, bez większych dolegliwości, ale o innym cyklu — co 21, 25, 30 i 32 dni — stwierdzamy następujący przebieg miesiączkowania podczas pobytu w C. I. W. F.:

u 13 osób (76,5%) — przebieg mies. nieregularny ze skłonnością do przedłużenia okresu w formie hypo- i amenorrhoea;

u 3 osób (17,6%) — okres pozostał bez zmian;

u 1 osoby (5,9%) — skrócenie okresu.

W grupie tej nie stwierdzono większych dolegliwości, poza chwilowemi bólami u kilku osób na obozie letnim i nieco dłuższym czasie krwawienia w okresie kursu narciarskiego.

Ad C) Wśród grupy słuchaczek (15 osób — 14,4%) o nieregularnym przebiegu miesiączkowania przed wstąpieniem do Instytutu, stwierdzono podczas pracy w Instytucie następujący przebieg miesiączkowania:

u 1 osoby (6,6%) — przebieg miesiączki był dosyć regularny, co 35 dni;

u 14 osób (93,4%) — przebieg mies. pozostał nadal nieregularny, często występowała w tej grupie amenorrhoea (u 9 osób — 60%), trwająca od 64 do 124 dni, czasem zjawiały się bóle i zwiększała się znacznie obfitość krwawienia.

Ad D) Spośród wszystkich badanych słuchaczek (155) została wyodrębniona grupa takich, które przed wstąpieniem do Instytutu cierpiały na różne dolegliwości podczas miesiączkowania.

1) Zbyt wielką bolesność zanotowano u 53 osób:

u 18 osób (34% danej grupy) — bolesność pozostała bez zmian;

u 19 osób (35,9% danej grupy) — bóle ustąpiły przejściowo;

u 16 osób (30,1% dan. grupy) — bóle ustąpiły pod koniec II roku.

Otrzymujemy wynik podobny, jak dla poprzednich grup — bolesność miesiączkowania pod wpływem nawet intensywnych ćwiczeń nie wzmaga się, a u większości osób (66%) wykazuje skłonność do zmniejszenia się.

2) Zbyt obfite miesiączkowanie zanotowano u 26 osób:

u 14 osób (54,0 danej grupy) — obfitość mies. pozostała bez zmian;

u 7 osób (27,0% danej grupy) — przemijające zmniejszenie obfitości;

u 5 osób (19,2% dan. gr.) — stała poprawa pod koniec II roku.

Stwierdzić można skłonność do nieznacznej poprawy, naogół (poza jednym wyjątkowym wypadkiem na kursie narciarskim) nie stwierdzono wybitnego pogorszenia w postaci krwotoków macicznych.

3) Zbyt długi czas trwania miesiączki (od 5 do 8 dni) przed wstąpieniem do Instytutu zanotowano u 43 osób:

u 15 osób (35% danej grupy) — czas trwania mies. pozostał bez zmian;

u 18 osób (42% dan. gr.) — zanotowano przemijającą poprawę;

u 3 osób (7% dan. gr.) — zanotowano stałą poprawę;

u 7 osób (16% dan. gr.) — pogorszenie, t. j. przedłużenie czasu krwawienia.

Wśród 7 słuchaczek, u których zanotowano pogorszenie — 5 ćwiczyło stale podczas miesiączkowania. Pozatem nie stwierdzamy pogorszenia, raczej skłonność do skrócenia czasu trwania miesiączki u znacznej większości osób danej grupy.

Ad E) U 12 słuchaczek, które ćwiczyły stale podczas miesiączkowania, stwierdzono: w pierwszych miesiącach przeważnie skłonność do przedłużania czasu trwania krwawienia, w drugim roku — skłonność do amenorrhoea (u 8 osób — 66,6% danej grupy). Nasilenia bolesności lub obfitości krwawienia nie zauważono.

Wnioski.

Rozpatrując prace przytoczonych autorów oraz przedstawione wyniki spostrzeżeń własnych, dochodzimy do następujących wniosków:

1) ćwiczenia fizyczne intensywnie i systematycznie uprawiane przez kobiety przez czas dłuższy wpływają w sposób wybitny na przebieg miesiączkowania, wywołując zaburzenia cyklu, z tendencją do przedłużenia cyklu, bez względu na to, jaki był uprzednio cykl i czy przebiegał regularnie;

2) wpływ ten w sposób nieznaczny dotyczy bolesności i obfitości, w większym stopniu — czasu trwania miesiączki;

3) zaburzenia cyklu powstają w pierwszych miesiącach pracy w Instytucie i po przejściowych wahaniach natężenie ich wzrasta w ciągu dwuch lat;

4) zauważyć można skłonność do zmniejszenia bolesności i obfitości miesiączki zarówno u osób o regularnym przebiegu miesiączkowania i osób z dolegliwościami;

5) czas trwania miesiączki przedłuża się w miarę przedłużania się czasu pracy (w przeciągu dwuch lat), zwłaszcza u osób, które ćwiczą podczas miesiączkowania;

6) ćwiczenia intensywne, uprawiane przez czas dłuższy, podczas miesiączkowania nie dają dobrych wyników;

7) okres egzaminów i nasilenia pracy umysłowej wywołuje zaburzenia okresowości w postaci skrócenia okresu;

8) ustrój kobiecy źle reaguje na ćwiczenia fizyczne intensywnie przez czas dłuższy stosowane i wymaga stopniowania wysiłku.

Częstość zaburzeń cyklu miesiączkowania z przedłużeniem okresu wynika jasno z przytoczonych liczb i na ich podstawie sporządzonych wykresów.

Ze 155 badanych słuchaczek tylko 8 (5,1%) przez czas dwuletnich studjów w Instytucie zachowało regularny i dla siebie właściwy cykl miesiączkowania. Nie wydaje mi się kwestją przypadku, że były to osoby albo wyjątkowo silne, albo też leniwe i chętnie opuszczające zajęcia, albo te, które wskutek uszkodzeń kończyn nie mogły ćwiczyć przez czas dłuższy.

Nie możemy bagatelizować stwierdzonych zaburzeń, ponieważ dotyczą one najistotniejszej cechy prawidłowego miesiączkowania — r e g u l a r n e j o k r e s o w o ś c i, zależnej bezpośrednio od prawidłowej czynności jajników, a pośrednio od układu gruczołów dokrewnych i układu wegetatywnego. Że czynności tych układów ulegały zaburzeniom, świadczą objawy, towarzyszące stanom hypo- i amenorrhoea.

To, że zaburzenia te występowały odrazu w drugim miesiącu pracy w tak znacznej liczbie (odsetek słuchaczek, miesiączkujących bez zmian, wynosił czasem w październiku 20%, a w grudniu zaledwie 4,5%) i często w postaci objawu chorobowego (jakim jest bezsprzecznie amenorrhoea u kobiet młodych i bez zmian organicznych) — tłumaczy się zbyt gwałtownem przejściem do intensywnego uprawiania ćwiczeń fizycznych bez stopniowania zaprawy. Większość słuchaczek w szkole średniej

ćwiczyło 3 do 4 godzin tygodniowo, tu zaś odrazu 2 do 3 godzin dziennie. Zrozumiałą jest rzeczą, że ustrój kobiecy, który wykazuje często wielką odporność i wytrzymałość na pracę fizyczną, o ile ma dojść do niej bez zaburzeń najistotniejszych czynności fizjologicznych, wymaga przestrzegania zasady stopniowania wysiłku.

Zaobserwowana skłonność do zmniejszenia się bolesności i obfitości krwawienia prawdopodobnie dotyczy przypadków, gdzie te objawy były następstwem stanu przekrwienia biernego macicy. Pod wpływem ćwiczeń fizycznych musiała nastąpić poprawa. Nasilenie bólów na obozie letnim nie można uzależnić od wpływu ćwiczeń fizycznych, gdyż bóle występowały odrazu w pierwszych dniach pobytu na obozie. Wytłumaczenie ich znaleźć możemy raczej w znanej krótkotrwałej reakcji miesiączkowania na zmianę klimatu, środowiska, trybu życia.

Czas trwania krwawienia zależy w znacznym stopniu od stanu przekrwienia narządów rodnych. Ćwiczenia fizyczne bez wątpienia wywołują stany przekrwienia narządów miednicy — stąd skłonność do przedłużania czasu trwania miesiączki, zwłaszcza u osób, które ćwiczą podczas miesiączkowania.

W okresie nasilenia pracy umysłowej i egzaminów widocznie czynniki nerwowe, zwiększona pobudliwość, wpływają na skrócenie okresu miesiączkowania.

Przedstawione tutaj spostrzeżenia naogół zgodne są z wynikami ogłoszonych dotąd prac. Pewna rozbieżność zachodzi z częścią wniosków *Škerlj'a,* pomimo, że pracę swą oparł na materjale częściowo tym samym, t. j. na roczniku 1933/35 (36 osób). Stwierdza on przedłużenie okresu z jednoczesnem przedłużeniem czasu trwania (zgodne z mojemi spostrzeżeniami), oraz zwiększoną obfitość i większe dolegliwości miesiączkowania (czego nie mogę potwierdzić). Rozbieżność wynika stąd, że *Škerlj* obliczał zaburzenia miesiączkowania dla całego rocznika, stwierdzając stan obecny, mnie zaś chodziło o stwierdzenie zmian, które powstają podczas pobytu w Instytucie. W tym celu wyeliminowałam karty tych słuchaczek, które przed wstąpieniem do Instytutu ulegały zaburzeniom miesiączkowania lub ćwiczyły systematycznie poza szkołą średnią.

Podobny sposób reagowania ustroju kobiecego na ćwiczenia fizyczne stwierdzono również w niemieckiej Wyższej Szkole W. F. w Berlinie, gdzie warunki pracy zbliżone były do naszych

na dwuletniem studjum. Przeprowadzono tam równocześnie badania porównawcze uczenic szkoły zawodowej, pragnąc wykluczyć wpływ ćwiczeń fizycznych. Stwierdzono, że u uczenic szkoły W. F. znacznie częściej występują zaburzenia miesiączkowania co do regularności, czasu trwania i bólów, natomiast rzadziej przypadki schorzeń narządów rodnych i upławy.

W ciągu trzyletniej obserwacji nie zanotowałam również wypadków pojawienia się lub pogorszenia stanu upławów — zgodnie z wynikami obserwacji *Lindemanna.*

Dotychczasowe badania nie dają żadnych podstaw do określenia trwałości zmian. Należałoby jednak rozstrzygnąć zasadniczą kwestję — czy jest wskazane w wychowaniu fizycznem doprowadzanie ustroju do zmian niekorzystnych, chociażby tylko przejściowych.

W każdym razie zagadnienie wychowania fizycznego kobiet wymaga wszechstronnie przemyślanego podejścia do sprawy. Jeden z głównych środków wychowania fizycznego — ćwiczenie fizyczne — jest bodźcem bardzo silnym i, zależnie od stosowania go, może dać wyniki złe albo bardzo dobre.

PISMIENNICTWO.

Brunn, L. Menstruation u. Leibesübungen. Münch. med. Wschr. 1931.
Düntzer, E. Leibesübungen u. Menstruation. Zbl. Gynäkol. 1930 Nr. 1.
Düntzer, E. u. Mitarb. Leibesübungen, weibliche Konstitution, Geburt u. Menstruation. Münch. med. Wschr. 1929, 1835.
Guntze. Leibesübungen u. Menstruation. Zbl. Gynäkol. 1930.
Hoffman, A. O przebiegu miesiączkowania u uczenic niemieckiej szkoły W. F. — Ztschr. f. Geb. u. Gynäk. 1933. *105.*
Lauener, P. Leibesübungen der Mädchen u. Frauen während Menstruation. Körpererziehg. 1932 — *97,* 265. Schweiz. med. Wschr. 1932 — 68.
Lindemann, W. Fluor u. Leibesübungen. Sportmedizin 1929 z. 2 s. 16.
Lölhöffel, E. v. Aus sportärztlicher Arbeit an Deutscher Hochschule f. Leibesübungen. Tagg. ber. Frauen - Turn u. Sporttag 1929. Reher - Berlin.
Lölhöffel, E. v. Aus Praxis der Sportärztin. Reher - Berlin.
Dybowska, J. Spostrzeżenia nad wpływem ćwiczeń fiz. na miesiączkowanie. Pol. Gazeta Lekarska 1933 Nr. 17.
Michaelsen, E. Periode u. Leibesübungen. Wschr. dtsch. Arztinnen 1927 z. 4. Sportarzt 1928 Nr. 1, 58.
Runge, H. Menstruation u. Leibesübungen. Dtsch. med. Wschr. 1928.
Schlesinger, E. Leibesübungen u. Menstruation. Zbl. Gyn. 1928 — 2758.
Schöppe, C. Menstruation u. Sport. Sportmedizin 1929 *z. 3* s. 14.
Scott, G. i prac. Zmiany sprawności fizycznej podczas miesiączkowania. Research. Quart. Amer. Physic. Educ. Assoc. 1932 — *136.*
Skerlj, B. Die Leibesübungen der Frau als bevölkerungspolitisches Problem. Ztschr. f. Rassenkunde 1935. *II* z. 2.
Miller, M. Zaburzenia miesiączkowania — Położnictwo i choroby kobiece. Warszawa 1933.

W. MISSIURO.

FIZJOLOGJA PRACY I ĆWICZEŃ

II. ODDYCHANIE A PRACA.

Zapotrzebowanie tlenowe podczas pracy mięśniowej.

Wejrzenie w istotę przeobrażeń energetycznych w mięśniu czynnym wskazuje, że przy beztlenowym mechanizmie skurczu zasadniczem źródłem energji odwracalnych procesów pracy i wypoczynku są reakcje utleniania. Wysoki potencjał chemiczny, decydujący o utrzymaniu niezrównoważonych systemów fizyko-chemicznego stanu elementów mięśniowych podczas spoczynku, spada w czasie przemiany energji chemicznej w pracę mechaniczną i ciepło.

Przejście ze stanu zrównoważenia warunków fizyko - chemicznych i niskiego potencjału chemicznego po skurczu do wyjściowego ładunku energetycznego odbywa się na drodze reakcyj, wzmagających podstawowe procesy oksydacyjne. Szybkość odbudowy wysokomolekularnych ciał o dużym zasobie energji pędnej uzależnione jest przedewszystkiem od ilości rozporządzalnego tlenu w środowisku oddychania tkankowego.

Przebieg zasadniczych reakcyj, towarzyszących czynności układu ruchowego, zależy od szeregu czynników egzo- i endogennych, głównie zaś od wydolności mechanizmów, mających zadośćuczynić wzmożonym podczas pracy wymaganiom zaopatrzenia tlenowego. Wzrost procesów spalań podczas pracy mięśniowej, zanotowany jeszcze przez *Lavoisier* [1] jest zjawiskiem towarzyszącem z reguły każdej nadczynności fizjologicznej. Praca mięśni zwiększa zapotrzebowanie na tlen z chwilą jej rozpoczęcia. W badaniach *Chauveau* i *Kaufmann'a* [2] nad ukrwieniem mięśnia poruszającego wargę górną u konia (m. levator labii), stwierdzono, że zużycie tlenu wynoszące w spoczynku 0.0028 do 0.0079 cm^3 na min. i 1 gr. mięśnia podnosiło się podczas pracy do 0.01—0.05 cm^3. Jak podaje *Verzar*[3], zużycie tlenu przez mięsień poprzecznie prążkowany, wynoszące w spoczynku przeciętnie 0.003 cm^3 na gr. i min., zwiększa się podczas skurczu tężcowego do 0.0089 cm^3. Największy wzrost zużycia tlenu, dochodzący do 0.02 cm^3 na gr. i min., występuje jed-

---

[1] *Lavoisier, A.:* Oeuvres. 1864. Paris.

[2] *Chauveau, A.* et *Kaufmann, M.:* C. R. des Seances de l'Acad. d. Scienc. 103 (1061) 1887.

[3] *Verzar, F.:* Journ. of Physiol. 44 (243). 1912.

nak około 15-ej sek. po ukończeniu skurczu. Zapotrzebowanie na tlen okazuje podczas intensywnej czynności mięśni blisko 12-krotne zwiększenie w porównaniu z normą spoczynkową. Zużycie tlenu w mięśniach człowieka podczas pracy wzrasta, według *Krogha* i *Lindhard'a* [1], o 20—30 razy w stosunku do poziomu spoczynkowego.

Zdolność ustroju do pokrywania tak wysokiego zapotrzebowania tlenowego podczas pracy uzależniona jest głównie od wydolności dwóch mechanizmów współdziałających: utylizacji tlenu oraz warunków krążenia krwi w narządach pracujących. Decydującą rolę w ustaleniu każdorazowego poziomu adaptacji tych funkcyj odgrywa stopień sprawności dwu wielkich układów — krążenia krwi i oddychania. Rozpiętość własności dostosowawczych tych czynności, decydująca o całej dynamice fizjologicznej ustroju, stanowi istotny miernik tężyzny życiowej osobnika. Ograniczenie wydolności jednego ze wskazanych układów powoduje natychmiast zaburzenia funkcyj drugiego, odbijając się skolei na innych zespolonych ze sobą czynnościach.

Mechanika oddychania w spoczynku i podczas pracy.

Istotną atmosferą oddechową ustroju jest mieszanina gazów, wypełniających przestrzeń pęcherzyków płucnych. Zadaniem funkcji oddychania zewnętrznego jest dostarczanie tej przestrzeni tlenu, pobieranego z atmosfery, jak również usuwanie z niej nadmiaru bezwodnika kwasu węglowego, jako ostatecznego przetworu przemian oksydacyjnych.

Oddychanie spełnia nadto rolę bardzo czułego mechanizmu, regulującego reakcję krwi. Wespół z szeregiem urządzeń buforowych bierze ono udział w niedopuszczaniu do jakichkolwiek znaczniejszych zmian w gospodarce zasadowo-kwasowej ustroju, które mogą mieć miejsce przy nagromadzeniu się kwaśnych przetworów przemiany, powstających podczas pracy.

Aczkolwiek czynność oddychania odbywa się automatycznie, t. zn. naskutek rytmicznego powstawania i zanikania stanu czynnego w ośrodkach nerwowych, kierujących tą funkcją, to jednak ulega ona wpływom również i ze strony ośrodków korowych. Odmiennie od akcji serca, niepodlegającej zasadniczo przejawom naszej woli, oddychanie może być modyfikowane w pewnych granicach przy współudziale świadomości. Wszystkie dowolne zmiany rytmu lub głębokości oddechu posiadają jednak charakter krótkotrwały, nie powodując naogół poważniejszych wpływów na nieustające ani na chwilę przemiany oddechowe w tkankach, a to dzięki istnieniu doskonałych urządzeń kompensacyjnych.

Sposób uskuteczniania przewietrzania płuc może okazywać zależność przedewszystkiem od tych odrębności budowy ciała

[1] *Krogh, A.,* a. *Lindhard, J.:* Journ. of Physiol. 47 (112) 1913.

wego.

i przeznaczeń biologicznych, któremi obdarzyła natura przedstawicieli odmiennej płci. Wyraźne typy oddechowe — piersiowy, czyli żebrowy, spotykamy częściej u kobiet oraz brzuszny, czyli przeponowy, najczęściej spotykany u mężczyzn. Wszelkie formy przejściowe nie pozostają natomiast uwolnione od wpływów właściwości wieku i trybu życia. U dzieci wyraźne różnicowanie typów oddechowych nie występuje. Dopiero po okresie dojrzewania płciowego zaznaczają się różnice w kinetyce klatki piersiowej mężczyzny i kobiety. Wytworzenie t. zw. kobiecego typu oddychania należy tłumaczyć wpływami czynników biologicznych oraz zewnętrznych. Poza możliwością występowania cech o znaczeniu adaptacji fizjologicznej, oddychanie kobiety ujawnia następstwa oddziaływań zniekształcających. Do tych ostatnich należą wpływy złej postawy oraz ubioru krępującego normalną ruchomość dolnego otworu klatki piersiowej. Aktywność odnośnych mięśni oddechowych, jak również funkcja przepony zostają upośledzone. Czynnikiem dodatkowym, pogłębiającym powstające stąd skutki ujemne, są zredukowane potrzeby oddechowe wobec niedostatecznego uwzględnienia w trybie życia kobiety ruchu fizycznego *(Hörnicke* [1]*)*. Trudno jest zatem twierdzić, że często spotykane u kobiet oddychanie, oparte głównie na ruchach żeber, jest typem oddechowym naturalnym.

Powyższy typ oddychania najczęściej wykazują kobiety i mężczyźni, nie uprawiający ćwiczeń cielesnych, względnie pozbawieni ruchu fizycznego *(Schlink* [2]*)*. Zawodowa praca fizyczna (dźwiganie ciężarów) wytwarza u kobiet występowanie wyraźnej skłonności do przejścia od oddychania piersiowego do typu przeponowego *(Okunewa, Steinbach* i *Schtscheglowa* [3]*)*. Podobnie, usprawnienie fizyczne w rezultacie treningu fizycznego sprzyja ustaleniu u kobiet typu oddychania przeponowego. Fakty powyższe wskazują, że poza ewentualnemi cechami różnicowania płciowego w ukształtowaniu typu oddychania kobiecego należy się liczyć z modelującym wpływem zewnętrznych czynników mechanicznych.

Mechanika wentylacji płuc, podobnie do innych funkcyj, może zatem ulegać naszej interwencji, mającej na celu działanie kształtujące lub korektywne. Wytworzenie techniki należytego oddychania przechodzi od zakresu wysiłku świadomego do zupełnej automatyzacji pełnowartościowego rytmu i amplitudy oddechu.

Zadaniem wentylacji płuc jest utrzymywanie mniej lub więcej stałego składu powietrza pęcherzykowego, regulującego prężność gazów we krwi tętniczej.

Skuteczność wymiany gazowej pomiędzy atmosferą pęcherzyków a krwią zależna jest więc od stopnia przewietrzania płuc, od-

---

[1] *Hörnicke, E.:* Münch. med. Wchschr. 1924 (1569) i 1925 (1332).
[2] *Schlink, E.:* Arbeitsphysiol. 5. (597) 1932.
[3] *Okunewa, I., Steinbach, E.* i *Schtscheglowa, L.:* Arbeitsphysiol. 2 (434) 1930.

bywającego się zapomocą rytmicznej czynności mechanizmów, które powodują kolejne zwiększanie i zmniejszanie się pojemności klatki piersiowej. Kształt tej ostatniej, elastyczność rusztowania kostnego, jak również rozwój i stan funkcjonalny umięśnienia, decydującego o zmianach pojemności klatki piersiowej, wpływają na stopień efektywności wymiany gazowej pomiędzy środowiskiem zewnętrznem a atmosferą pęcherzykową.

Rozszerzenie klatki piersiowej, warunkujące bierne powiększenie pojemności płuc, jest podstawą fazy wdechowej, zadaniem której jest dostarczenie nowych zasobów tlenu krwi, przepływającej w ściankach pęcherzyków płucnych. Przywraca się wówczas średni stan parcjalnego ciśnienia dwutlenku węgla.

Podstawą dynamiki drugiej fazy oddechowej — wydechu — jest, w warunkach oddychania w spoczynku, bierne zmniejszenie się wszystkich wymiarów klatki piersiowej, dochodzące do skutku z ustaniem stanu czynnego mięśni wdechowych. Wzmożony oddech, wywołany pracą mięśniową lub też bodźcami natury psychicznej, nie ogranicza się do wykonywania zupełnie biernego wydechu. W tych przypadkach zarówno ruchy wdechowe, jak i czynne zmniejszenie się podczas wydechu pojemności klatki piersiowej, w następstwie zwiększonej ekskursji tej ostatniej, odbywają się przy mobilizacji dodatkowych mięśni oddechowych.

Wielkość pojemności wdechowej, zabezpieczająca normalną wymianę gazów w płucach, wynosi podczas spokojnego oddychania około $\frac{1}{2}$ litra. Podczas pracy mięśniowej może dochodzić do 3 ltr i wyżej. Z tego jednak tylko część powietrza bierze bezpośredni udział w wymianie, docierając do przestrzeni pęcherzykowej. Około 110—180 cm^3 powietrza *(Krogh* i *Lindhard* [1]), wypełniając drogi oddechowe do pęcherzyków płucnych, stanowi natomiast powietrze t. zw. przestrzeni bezużytecznej. Powietrze to pierwsze zostaje wydalane z wydechem oraz pierwsze wciągane jest przy wdechu do przestrzeni pęcherzykowej.

Ponieważ po normalnym wydechu pęcherzyki płucne wypełnione są 2500—2800 cm^3 powietrza (aktualna pojemn. pł.), z którem zostaje wymieszane 320—390 cm^3 powietrza wdech., przeto współczynnik wentylacji $\frac{\text{pow. wdech.}}{\text{akt. pojemn. pł.}}$ waha się podczas spokojnego oddychania tylko od $\frac{1}{7}$ do $\frac{1}{8}$. Mimo to wskazana efektywność wentylacji normalnie utrzymuje stały skład powietrza pęcherzykowego.

Dość znaczne wahania wielkości przestrzeni bezużytecznej w spoczynku, podawane przez różnych autorów (140—150 cm^3 w spoczynku w/g *Loewy*'ego [2], 140—190 cm^3 w/g *Douglas*'a i *Haldane*'*a* [3]), oraz jeszcze większe różnice podczas oddychania wzmożonego (wzrost do 680 cm^3 przy głębokim oddechu w/g *Campbell*'a,

---

[1] *Krogh, A.* a *Lindhard, J.:* Journ. of Physiol. 47 (30) 1913—14.
[2] *Loewy, A.:* Pflüg. Arch. 58 (416) 1894.
[3] *Douglas, C.* a. *Haldane J.:* Journ. of Physiol. 45 (235) 1912.

Douglas'a i *Hobson'a* [1]) zależne są tylko w części od metodyki stosowanej do oznaczeń (metoda oparta na pomiarach anatomicznych, lub też na danych składu powietrza pęcherzykowego). Wielkość przestrzeni bezużytecznej, odgrywająca dużą rolę w warunkach wymiany gazów na odcinku pęcherzyków, jest do pewnego stopnia w związku funkcjonalnym z wentylacją płuc, a szczególnie z głębokością oddechu.

Pogłębienie oddechu, przekraczające pewne optimum, zależne od własności indywidualnych, łączy się z powiększeniem przestrzeni bezużytecznej. Powiększenie to tłumaczy się rozszerzeniem najdrobniejszych oskrzeli i przedsionków, w których jednak odbywa się już częściowo wymiana gazów.

Zmiany wielkości przestrzeni bezużytecznej nie są proporcjonalne do głębokości oddechu *(Krzywanek* i *Deseö* [2]*)*. Jak podają *Krogh* i *Lindhard,* maksymalne zwiększenie przestrzeni bezużytecznej przy głębokim wdechu nie przekracza 100% wielkości przestrzeni przy oddychaniu spokojnem. Według *Pierce'a* i *Hoover'a* [3] wielkość przestrzeni bezużytecznej nie zmienia się przy głębokości oddechu od 0.3 do 1.0 l.

Duże wahania przestrzeni bezużytecznej, określanej bezpośrednio ze składu powietrza pęcherzykowego *(Haldane* i *Priestley* [4]), wydają się być również zależne od wzajemnego stosunku częstości i głębokości oddechów przy przewietrzaniu pęcherzyków płucnych w warunkach hyperpnoe. Skład powietrza poszczególnych części przestrzeni pęcherzykowej może się różnić między sobą w warunkach wentylacji niedostatecznej. Przyczyna tych różnic polega na tem, że wentylacja niektórych odcinków płuc (jak np. szczytów płucnych lub też części zwróconych ku przestrzeni śródpiersia) nawet przy zupełnie normalnem oddychaniu odbywa się w mniej sprzyjających warunkach. Pozatem pewna niezależność budowy zakończeń dróg powietrznych (zrazików płucnych) sprawia, że niektóre części z przestrzeni pęcherzykowej mogą pozostawać bezczynne, podczas gdy w innych odbywa się proces wymiany gazów. Niewydolność wentylacji ujawnia się w tych przypadkach w niedotlenianiu krwi tętniczej, mieszanej, pochodzącej z różnych części płuc *(Haldane* [5]*)*.

Skuteczność przewietrzania płucnego pozostaje w związku ze stopniem wykorzystania tlenu powietrza wdechowego, wyrażonego wielkością ilorazu $\frac{O_2\ cm^3}{\text{went. ltr}}$. Znaczniejsza skuteczność wentylacji ujawnia się w zwiększeniu odsetka O_2, pobieranego z powietrza wdechowego, czyli w spadku zawartości procentowej O_2 w powietrzu

---

[1] *Campbell, J., Douglas, C.* a. *Hobson:* Journ. of Physiol. 48 (303) 1914.
[2] *Krzywanek, F.* u. *Deseö, D.:* Pflüg. Arch. 214 (767) 1926.
[3] *Pierce,* a. *Hoover:* Amer. Journ. of Physiol. 43 (73) 1917, 52, (472) 1920.
[4] *Haldane, J.* a. *Priestley:* Journ. of Physiol. 32 (204) 1905.
[5] *Haldane, J. S.:* Respiration. 1927 (136) London.

wydechowem. Zasadniczy efekt wentylacji — dostarczenie dla bieżących potrzeb określonej ilości tlenu — wytwarza się w tych warunkach przy udziale wentylacji mniej lub bardziej ekonomicznej.

Zależność % O_2 wydechowego od nasilenia oddychania ilustruje niżej podane zestawienie *(Liljestrand* w/g *Speck'a*[1]*):*

Rodzaj oddych.	Wentylacja l/min.	O_2 powietrza wydechowego %	Zużycie O_2 cm^3/min	$\frac{O_2\ cm^3}{went.\ ltr.}$
Oddych. norm.	7.5	16.29	360	48
Dowolnie zmniejsz.	5.8	15.50	330	57
Dowolnie zwiększ.	17.6	18.29	445	25

Praca mięśniowa podnosi efektywność wentylacji, zwiększając stopniowo, w miarę wzrostu natężenia pracy, liczbę pęcherzyków czynnych. Bardziej kompletne utlenianie krwi w płucach, poza zwiększeniem ilości pęcherzyków mobilizowanych do wymiany gazowej, odbywa się w następstwie: lepszego przewietrzania tych pęcherzyków, zwiększania ich powierzchni (rozciąganie), oraz rozszerzenia kapilarów płucnych, które zwiększa powierzchnię dyfuzji gazów oddechowych. Czynnikami współdziałającemi są: 1) zmiany szybkości dyfuzji tlenu przez ściankę pęcherzyków płucnych, 2) wydajność pracy serca (objętość minutowa), 3) szybkość krążenia krwi w mięśniach czynnych oraz 4) warunki dyfuzji tlenu z naczyń włoskowatych do tkanek.

Funkcja przewietrzania płuc zarówno w spoczynku, jak i podczas najbardziej intensywnej pracy, przy należytem wyzyskaniu tlenu powietrza wdechowego, odpowiada wymaganiom całkowitego nasycenia Hb krwi tlenem w płucach. Skuteczność odnawiania powietrza przestrzeni pęcherzykowej zależna jest od wzajemnego stosunku podstawowych elementów, składających się na mechanizm przewietrzania płuc — częstości i głębokości ruchów oddechowych.

Wzrost wentylacji płuc (w spoczynku 5—10 ltr./min. po redukcji do objętości gazu suchego przy 0^0 i 760 mmHg.) może powstawać w następstwie tak przyśpieszenia, jak i pogłębienia oddechów. Udział każdego z powyższych czynników uzależniony jest od wielkości potrzeb wzmożenia wentylacji oraz w mniejszym stopniu może ulegać wahaniom, wynikającym z własności indywidualnych osobnika.

Przy zwiększeniu wentylacji płuc podczas pracy umiarkowanej główną rolę odgrywa zwiększenie amplitudy oddechowej. U osobników zdrowych, a zwłaszcza wytrenowanych, wzmożenie wentylacji płuc odbywa się w $^2/_3$ częściach kosztem pogłębienia oddechu. Przyśpieszenie rytmu oddechowego w tych samych warunkach odgrywa natomiast znaczniejszą rolę u osób mniej usprawnionych *(Herxheimer* i *Kost*[2], *Kagan* i *Kaplan*[3]*).*

---

[1] *Speck, C.:* Physiologie des menschlichen Atmens. 1892.
[2] *Herxheimer, H.* u. *Kost, R.:* Z. klin. Med. 108. 1928.
[3] *Kagan.* u. *Kaplan:* Arbeitsphysiol. 3 (27). 1930.

Znaczniejsze zwiększenie liczby oddechów rozpoczyna się w warunkach normalnych dopiero po osiągnięciu indywidualnego maksimum głębokości oddechu, zbliżającego się do poziomu pojemności życiowej płuc osobnika. Dalszy wzrost wentylacji odbywa się kosztem coraz bardziej zaznaczonego przyśpieszenia rytmu oddechowego, przyczem głębokość oddechowa u osobników wytrenowanych pozostaje naogół na stałym poziomie wielkości optymalnej. (W doświadcz. *Christensen*'a [1] 3—4 l przy wzroście wentylacji od 37.01 do 112.25 l/min). Dopiero znaczniejszy wzrost liczby oddechów (powyżej 33—35 na min.) wpływa na zmniejszenie amplitudy oddechów.

Wzrost wentylacji płuc do 112 l/min. (niezredukowanej) podczas intensywnej pracy może być utrzymywany przez pewien okres czasu przy przyśpieszeniu rytmu oddechowego do 30—33 oddechów na min. bez zmniejszenia głębokości oddechu, dochodzącej do 4.6 l *(Herxheimer [2])* i nawet 4.87 l *(Christensen)*.

Przytoczone przykłady krańcowych stopni pogłębienia oddechu nie wydają się jednak, w świetle danych *Liljestrand*'a [3], odpowiadać optymalnym warunkom wydolności wentylacji. Poza możliwością zwiększenia przestrzeni nieużytecznej wzrasta przytem wydatek energetyczny mięśni oddechowych, które obciążone są dodatkową pracą, wobec znaczniejszych oporów dla ruchów klatki piersiowej, wykonywującej bardzo głębokie oddechy.

Z postępującem zwolnieniem i pogłębieniem oddychania wzmaga się coraz bardziej współudział wysiłku wydechowego *(Rohrer [4], Hess [5])*. Wydatek energetyczny, czyli koszt pracy mięśni oddechowych, wynoszący podczas oddychania spokojnego 1—3% przemiany całkowitej *(Liljestrand)*, podczas ciężkiej pracy może podnieść się nawet do 10% ogólnego wydatku energetycznego *(Christensen, Krogh, Lindhard [6])*. Nadwyżka przemiany, pokrywająca potrzeby mechaniki oddychania, okazuje pewną zależność z wielkością pojemności życiowej płuc. Mniejsza pojemność życiowa płuc łączy się najczęściej ze zwiększonym kosztem energetycznym wentylacji wzmożonej.

Opisane następstwa zwiększenia wysiłku mięśni oddechowych, jak również zmiany warunków dyfuzji gazów przy nadmiernem pogłębieniu oddechu podczas intensywnej pracy, tylko w nieznacznym stopniu zostają skompensowane przez zmniejszenie oporu dla przepływu powietrza w rozciąganych drogach oddechowych, łącznie z lepszem wymieszaniem powietrza w pęcherzykach płucnych.

---

1 *Christensen, H.:* Arbeitsphysiol. 5 (463). 1932.
2 *Herxheimer, H.:* Grundriss der Sportmedizin. 1933.
3 *Liljestrand, G.:* Skand. Arch. Physiol. 35 (199). 1918.
4 *Rohrer, F.:* Handb. d. norm. u. pathol. Physiol. 2 (91). 1925.
5 *Hess, W. R.:* Die Regulierung der Atmung. 1931.
6 *Christensen, H., Krogh, A.* a *Lindhard, J.:* Quart. Bul. of the Health Organiz. of the League of Nat. III (388). 1935.

Utrzymanie wysokiego poziomu sprawności kinetyki oddechowej oparte jest na skoordynowaniu optymalnej głębokości oddechu z ekonomicznem przyśpieszeniem rytmu oddechowego, okazującego, między innemi, dużą zależność z rytmem pracy.

W porównaniu z oddechem głębokim i powolnym, znaczne przyśpieszenie rytmu przy małej amplitudzie oddechowej przedstawia mniej sprzyjające warunki do odświeżania zalegających w płucach warstw powietrza:

Liczba oddech. na min.	12	15	24	30	60
Głębokość oddech. (l)	3.43	3.34	2.65	2.06	0.89
Wentylacja płuc (l/min)	41.15	50.12	63.7	61.8	53.5

Zakłócenie koordynacji optymalnej wielkości rytmu oddechowego i głębokości oddechu, zależnych od własności indywidualnych osobnika oraz warunków pracy, łączy się ze spadkiem wydajności wentylacji płuc oraz zwiększa koszt energetyczny tej ostatniej.

W przypadkach niedostosowania wielkości oddychania do wymagań pracy, główną rolę wydaje się odgrywać dysproporcja pomiędzy przyśpieszeniem a pogłębieniem oddechu. Tego rodzaju nastawienie kinetyki oddychania, połączone ze zwiększeniem roli przestrzeni bezużytecznej, oraz coraz bardziej zbliżające się do stanu dyspnoetycznego, nie może utrzymać zaopatrzenia tlenowego na poziomie wymagań pracy (hipowentylacja).

Rozbieżność między rytmem a głębokością oddechów oraz wytworzenie typu oddychania powierzchownego (płytkiego), obniżającego efektywność przewietrzenia płucnego świadczą o niedostatecznem wytrenowaniu. Zjawiska te mogą przedstawiać również przejaw znacznego znużenia układu ruchowego klatki piersiowej po wysiłkach długotrwałych *(Missiuro* [1]*)*. Jak wykazują radjologiczne badania *Schick*'a *i Grünberg*'a [2] spadek amplitudy oddechowej podczas znużenia *(Durig, Ulrik)* wiąże się ze zmniejszeniem ekskursji żeber i przepony.

Prócz objętości powietrza oddechowego na jednostkę czasu duże znaczenie dla wentylacji płuc posiada też szybkość przepływu powietrza w poszczególnych fazach wdechu. Przy tej samej wielkości wentylacji płuc równomierny oraz powolny przepływ powietrza wdechowego sprzyja bardziej efektywności wymiany gazowej, w porównaniu z szybkością wdechową znaczniejszą i nierównomierną.

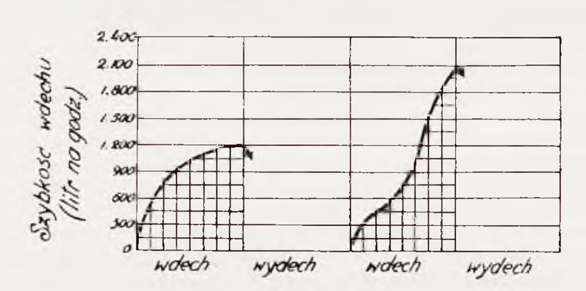
Udoskonalenie aparatu oddechowego w następstwie treningu wpływa wyraźnie na zmniejszenie maksymalnej szybkości przepływu powietrza wdechowego w drogach oddechowych:

---

[1] *Missiuro, W.:* Pam. III Zjazdu Nauk. Ofic. Sł. Zdr. 1936.
[2] *Schick, J.* u. *Grünberg, A.:* Arbeitsphysiol. 8 (545). 1935.

Data	Maks. szybkość przepływu pow. wdech. (l/godz).
9.XI.31.	5450
12 „	5000
15 „	4950
16 „	4150
17 „	4350
19 „	3600

Przykład powyższy, zaczerpnięty z danych *Dautreband*'a [1], wskazuje, że 10-dniowy trening (15 min praca na cykloergometrze — 500 kgm/min) obniża maksymalną szybkość wdechową blisko o 2 l.



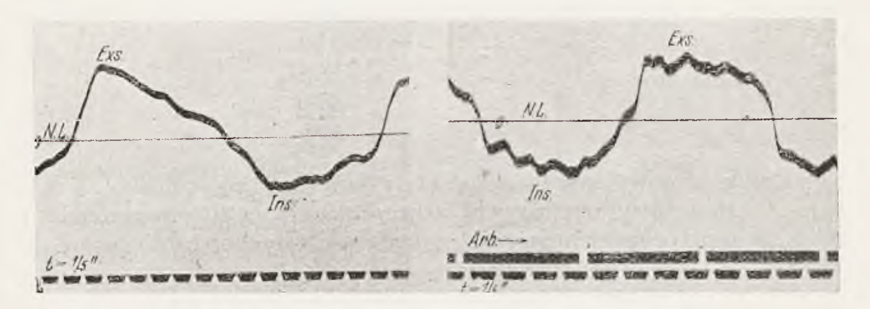
Rys. 22. Krańcowe typy maksymalnej szybkości strumienia powietrza wdechowego. (Dautrebande).

Poza szybkością ruchu powietrza podczas fazy wdechowej, nie bez znaczenia dla wydajności wymiany gazowej pozostaje też i kinetyka fazy wydechowej. Stanowiąc w stanie spoczynku wypadkową biernego procesu zmniejszenia pojemności klatki piersiowej, wydech jest jednocześnie fazą wolniejszą. Stosunek przeciętnej szybkości wdechu (1.52 sek) do szybkości wydechu (1.76 sek) wynosi 100 : 116 przy 18 oddechach na min. Krańcowe wartości dochodzą, według *Bretschger*'a [2] do 100 : 85 i 100 : 154. Oznaczona zapomocą pneumotachografu *Fleisch'a* [3] przeciętna szybkość ruchu powietrza wdechowego równa się przytem (według *Tiitso* [4]) około 350 cm^3 na sek. (300—500 cm^3 na sek w/g *Rohrer*'a [5]). Praca mięśniowa niweluje różnice kształtu fazy wdechowej i wydechowej pneumotachogramu (rys. 23). Wzrastająca równolegle do wzmożenia wentylacji szybkość przepływu powietrza dochodzi do 2575 $\pm$ 286 cm^3 na sek. (podczas pracy 815 — 1785 kgm/min na cykloergometrze) oraz redukuje się coraz bardziej różnica szybkości wdechu i wydechu. Stosunek czasu trwania wdechu do wydechu 100 : 103 *(Tiitso* [6]*)* odź-

---

1 *Dautrebande, L.:* Traité de Physiol. norm. et pathol. V. 1934.
2 *Bretschger, H.:* Pflüg. Arch. 210 (134). 1925.
3 *Fleisch, A.:* Pflüg. Arch. 209 (713). 1925.
4 *Tiitso, M.:* Arbeitsphysiol. 9 (16). 1935.
5 *Rohrer, F.:* loc. cit.
6 *Tiitso, M.:* loc. cit.

wierciadla powyższe zmiany, w których niemałą rolę odgrywa aktywacja fazy wydechowej.



Rys. 23. Pneumotachogram w spoczynku (z lewa). Pozioma NL jest linją zerową szybkości prądu powietrza wdechow. Odchylenie krzywej szybkości od linji zerowej w górę odpowiada wydechowi, odchylenie wdół — wdechowi. Krzywą odczytywać od strony lewej ku prawej. Wartości dla wydechu: czas — 1.40 sek., szybkość max. 1134 cm³/sek., szybk. średnia 605 cm³/sek. Wartości dla wdechu: czas 1.45 sek., szybk. max. 875 cm³/sek., szybkość średnia 596 cm³/sek. Objętość 863 cm³.
Pneumotachogram tego samego osobnika podczas pracy (z prawą). Odcinek linji poziomej Arb. odpowiada pracy o 11.0 mkg/min. Wartości dla wydechu: czas 0.95 sek., szybkość max. 3740 cm³/sek., szybkość średnia 2675 cm³/sek. Wartości dla wdechu: czas 0.94 sek., szybkość max. 3740 cm³/sek., szybkość średnia 2750 cm³/min. Objętość 2585 cm². (Tiitso).

Stany wytrenowania mogą się wyrażać zatem w skłonności rytmu oddechowego do zwolnienia przy jednoczesnem pogłębieniu każdego oddechu (*Demeny* [1], *Hartwell* i *Tweedy* [2], *Missiuro* [3], *Jordi* [4], *Ewig* [5], *Loewy* i *Knoll* [6]). Bardziej ekonomiczna wentylacja płuc w spoczynku i podczas pracy łączy się przytem z lepszem wykorzystaniem tlenu powietrza oddechowego.

Przyśpieszenie rytmu oddechowego, nieproporcjonalne do pogłębienia oddechu, poza zakłóceniem przebiegu wymiany gazowej w płucach, powoduje zmiany krążenia obwodowego i płucnego. Wpływając na zmniejszenie ssącego działania wewnątrzpiersiowego, sprawia ono, iż krążenie dosercowe odbywa się w mniej sprzyjających warunkach. Wynikające stąd zmniejszenie wypełnienia serca wiąże się z mniej lub bardziej zaznaczonemi zjawiskami zastoinowemi na obwodzie (*Stewart* [7], *Schenk* [8]).

Odchylenia w normalnej kinetyce oddychania podczas wysiłku fizycznego są zaznaczone tembardziej, o ile istnieją one w warunkach oddychania spokojnego. Zakłócenie koordynacji zasadniczych czynników mechaniki oddechowej

[1] *Demeny, G.:* Les bases scient. de l'Educ. Phys. (99). 1903.
[2] *Hartwell, G.* a. *Tweedy, N.:* Journ. of Physiol. 46 (9). 1913.
[3] *Missiuro, W.:* Wychow. Fiz. 4—5. 1928.
[4] *Jordi, A.:* Arbeitsphysiol. 7 (9). 1933 .
[5] *Ewig, W.:* Münch. med. Wochenschr. (1955). 1925.
[6] *Loewy, A.* u. *Knoll, W.:* Z. f. Hyg. 104 (738) .1925.
[7] *Schenk, P.:* Die Ermüdung gesund. u. krank. Menschen. 1930.
[8] *Stewart, G. N.:* Amer. Journ. of. Physol. 28 (190). 1911.

w tych przypadkach stanowi następstwo braków rozwojowych klatki piersiowej, niewyćwiczenia jej aparatu ruchowego, jak również stanów patologicznych miąższu płucnego, opłucnej lub też dróg oddechowych. W ukształtowaniu się mniej lub więcej wydolnego typu mechaniki oddychania dużą rolę odgrywają również czynniki natury konstytucyjnej. Tą drogą np. skłonność do opuszczenia trzew (enteroptozy) u leptosomatyków jest zasadniczą przyczyną obniżenia współudziału oddychania przeponowego *(Wenckebach* [1]*)*.

Niedostateczność wentylacji płuc jest częstem następstwem ograniczenia czynności całego mechanizmu ruchowego układu oddechowego lub też wręcz wadliwego jego nastawienia czynnościowego. Niewyzyskanie możliwości rozszerzania klatki piersiowej w kierunkach poprzecznym i przednio-tylnym może być powodowane niedostatecznym rozwojem jej sklepienia, jak również zniekształceniami kośćca wskutek procesów patologicznych. Przesunięcia przyczepów mięśni oddechowych przy skrzywieniach kręgosłupa ograniczają normalną ruchomość klatki piersiowej. Do tego prowadzą też wszystkie procesy, obniżające normalną elastyczność stawów i części chrząstkowych żeber. Zmniejszenie amplitudy ruchów ściany klatki piersiowej występuje nadto przy niedorozwoju lub też niewyćwiczeniu mięśni wdechowych, patologicznych zmianach w obrębie narządów śródpiersia i jamy brzusznej oraz zmianach ciśnienia tej ostatniej.

Niejednokrotnie przyczyną niewydolności przewietrzania płuc jest niewystarczalność akcji przepony, na którą w warunkach normalnych podczas oddychania spokojnego przypada pokrycie znacznej części kinetyki oddechu. Czynność przepony, odgrywającej dominującą rolę w mechanice oddychania pełnowartościowego, może ulegać ograniczeniu, nie wpływając wówczas na należyte powiększenie pojemności klatki piersiowej oraz nie wywierając wzrostu ciśnienia jamy brzusznej i ucisku na wątrobę, jakie sprzyjają krążeniu dosercowemu. Jako rezultat uszkodzenia unerwienia przepony lub też zmniejszenia drożności głównych przewodów oddechowych występują również zaburzenia mechaniki oddychania, połączone niekiedy z zupełnem odwróceniem normalnej czynności przepony *(Hofbauer* [2]*)*. Ta ostatnia może ulegać bowiem ssącemu działaniu fazy wdechowej, podnosząc się ku jamie klatki piersiowej oraz zmniejszając amplitudę zwiększenia jej pojemności (Pseudoparadoxe Zwerchfellbewegung). Ściana brzuszna okazuje w tych przypadkach wciąganie się wzamian normalnego wypuklenia jej przedniej i bocznej części. Poza ograniczeniem głębokości oddechu, wytwarza się przytem zakłócenie normalnych warunków dopływu żylnego z dolnej połowy ciała.

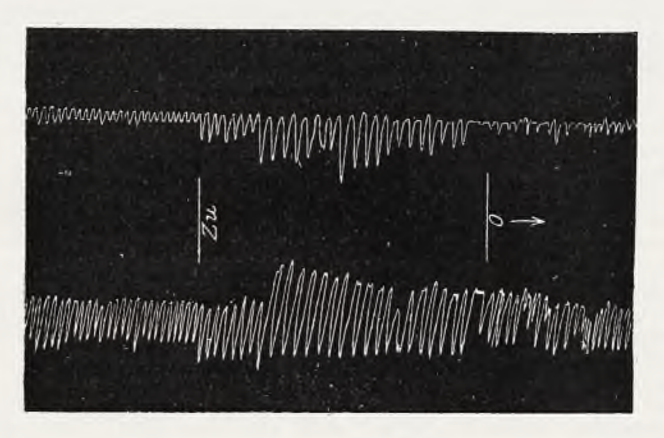
Do wskazanych przyczyn obniżenia sprawności przewietrzania płucnego należą też stany dysproporcji pogłębienia wdechu i wydechu z wytworzeniem nastawienia wdechowego i przepełnienia pęcherzyków przy oddychaniu wzmożonem. Znaczna przewaga fazy wdechowej przemienia się w zjawisko stałe przy dłuższem wykonywaniu wysiłków fizycznych w warunkach pogłębienia wdechu bez odpowiednio zwiększonej amplitudy wydechowej. Przewaga wdechowego nastawienia klatki piersiowej ze wszystkiemi jego skutkami wytwarza się również w rezultacie tak częstej u młodzieży nawykowej postawy o charakterystycznem „wypinaniu" klatki piersiowej *(Wenckebach* [3]*)*. Rozciągnięcie pęcherzyków płucnych powoduje ograniczenie siły napięcia elastycznego tkanki płucnej. Wzrost ciśnienia ujemnego śródklatkowego, towarzyszący wdechowemu rozszerzeniu klatki piersiowej, ulega przytem zmniejszeniu *(Schenk* [4]*)*.

Zjawiskiem nierzadkiem jest również typ oddychania, przy którem przypływ powietrza do płuc odbywa się nie równomiernie, lecz rzutami. Tego rodzaju zakłócenie kinetyki oddechowej towarzyszy często niedostateczności wydechu. Zachwianie normalnego rytmu oddechowego występuje po kilku wdechach, połączonych z niepełnowartościowemi powierzchownemi ruchami wydechowemi. Głębokie zmiany regulacji rytmiki oddychania mogą wyrażać się w wytworzeniu się typu oddychania okresowego.

---

[1] *Wenckebach, K.:* Wien. klin. Wschr. I (839). 1935.
[2] *Hofbauer, L.:* Hndbch. d. norm. u. pathol. Physiol. II. 1925.
[3] *Wenckebach, K.:* loc. cit.
[4] *Schenk, P.:* loc. cit.

Wśród innych czynników, obniżających efektywność przewietrzania wszystkich odcinków płuc, dużą rolę może odgrywać nadto ograniczenie głębokości oddechu, cechujące oddychanie przez usta. Skrócenie normalnej drogi powietrzonośnej, szczególnie zaznaczone w redukcji ruchów oddechowych górnych części klatki piersiowej, stanowi następstwo nietylko stanów patologicznych. Nawykowe oddychanie przez nos, łatwo powstające przy istnieniu czynników predysponujących, zależne jest w niemniejszym stopniu od kształtujących wpływów wychowania od młodości. Znaczniejsze przyśpieszenie rytmu oddechowego, towarzyszące oddychaniu przez usta, oraz zwiększenie szybkości dopływu powietrza do pęcherzyków ograniczają zasięg wentylacji płucnej i nie pozwalają na należyte wyzyskanie tlenu powietrza wdechowego. Przyzwyczajenie do odychania przez usta zmniejsza nadto naturalną potrzebę rozwoju mięśni oddechowych.



Rys. 24. Pneumogram przy oddychaniu przez usta. Krzywa górna — ruchy górnej części (szczytowej) kl. piersiowej, krzywa dolna — ruchy dolnego otworu kl. piersiowej. Odcinek krzywych od „Zu" do „O" — oddychanie wyłącznie przez nos. (Hofbauer).

Podobnie do wyżej wskazanych czynników na stopniowe przyzwyczajenie się do ograniczenia ruchów klatki piersiowej wpływa sedenteryjny tryb życia. Zjawiska te, wynikające z mniej sprzyjających warunków biomechaniki oddechu przy pozycji siedzącej, pogłębiane są specyficznemi wpływami, jakie mogą towarzyszyć pracy umysłowej. Stany skupienia uwagi podczas tej ostatniej przyśpieszają naogół i czynią oddech bardziej powierzchownym (*Binet*[1], [2], *McDowgall*[3], *Rupp* i *Harnack*[4]). Dłuższe utrzymywanie uwagi w napięciu, poza zmianami rytmiki oddechowej, wpływa nadto na normalny stosunek okresów wdechu i wydechu. Występuje wyraźne przedłużenie czasu trwania wydechu w stosunku do trwania fazy wydechowej. Następstwem tego rodzaju często powtarzających się oddziaływań jest ograniczenie funkcji wyzyskiwania

---

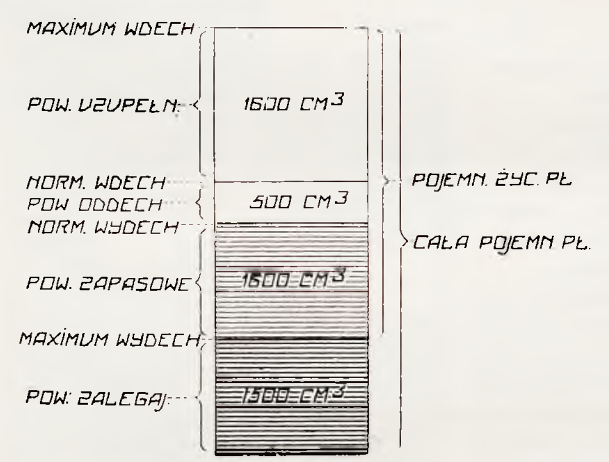
[1] *Binet, L.:* C. R. de la Soc. de Biol. 82 (693). 1919.
[2] *Binet, L.* et *Courtier:* L'Année psychol. 2 (87). 1895.
[3] *McDowgall:* Psych. Rev. 3 (178). 1896.
[4] *Rupp, H.* u. *Harnack, W.:* Psychot. Ztschr. 8 (III, 178) 1933.

normalnej wydolności dynamiki klatki piersiowej. Cierpi na tem, w pierwszym rzędzie, wentylacja wierzchołków płucnych, w których dopływ i wydalanie strumienia powietrza odbywa się, w stosunku do innych części płuc, w mniej sprzyjających warunkach.

Zanotowane fakty modyfikujących wpływów nawykowych, które znajdują punkt wyjścia w szczególnie zaznaczonych oddziaływaniach życia wielkomiejskiego lub też nierozłącznie związanych z warunkami pracy zawodowej, skierowują uwagę tembardziej na konieczność zastosowania środków, pozwalających zachować pełnowartościową wydajność funkcji oddychania. Należyte docenianie doniosłych momentów czynności oddechowej powinno być uwzględniane w programie racjonalnego wychowania fizycznego, jako akcji zapobiegawczej i korektywnej.

Zmiany pojemności płuc.

Zmiany dynamiki oddychania podczas pracy oraz stopień wydolności wentylacji płuc są w pewnej zależności od występujących jednocześnie zmian objętości płuc i pojemności dróg oddechowych. Równolegle do wzrostu ilości powietrza oddechowego ulega zwiększeniu objętość powietrza zalegającego, które odgrywa, według *Maclead*'a [1], rolę mechanicznego buforu, wyrównywującego nagłe zmiany koncentracji gazów, jakie mogą powstawać w pęcherzykach przy głębokim wdechu.



Rys. 25. Pojemność życiowa płuc oraz objętość powietrza zalegającego.

Zanotowanemu podczas pracy mięśniowej powiększeniu pojemności płuc o 600—1200 cm^3 przypisuje *Verzár* [2] znaczenie czynnika rozszerzającego powierzchnię oddechową.

---

[1] *Maclead, J. R.:* Physiology a. Biochemistry in Modern Medicine. 1926.
[2] *Verzár, F.:* Pflüg. Arch. 232 (322). 1933.

Zmniejszenie pojemności życiowej płuc (4.5—5.5%) przy przyjęciu pozycji leżącej z pozycji stojącej ciała (*Bohr*[1], *Hasselbalch*[2], *Wilson*[3]), poza możliwością nieznacznego przyrostu powietrza zalegającego, powodowane jest głównie obniżeniem maksymalnej granicy amplitudy wdechu (*Hasselbalch*), łącznie z redukcją ilości powietrza zapasowego. Odnośne badania spirometryczne oraz dodonywane zapomocą spirografu *Krogh*'a i torakografu (*Lindhard*[4]) uwydatniają zależność ruchomości i pojemności klatki piersiowej od poszczególnych pozycyj tułowia i ruchów kończyn. Naogół wszystkie ruchy, przy których ramiona są wzniesione, sprzyjają rozszerzeniu klatki piersiowej, wpływając do pewnego stopnia na utrudnienie całkowitego wydechu.

Ruchy, połączone ze skurczeniem mięśni brzusznych (skręty tułowia, opad wtył, skłon wdół, zwisy), wykazują stałe, aczkolwiek umiarkowane utrudnienie wdechu.

Ruchy, przy których przednia ściana brzuszna jest biernie rozciągnięta (skłon tułowia wtył i wbok, skłon na pięty, stanie na rękach, zwis z ugięciem ramion u kobiet stawiają znaczniejsze przeszkody normalnej kinetyce oddechowej.

Wpływ poszczególnych pozycyj ciała i ćwiczeń gimnastycznych na motorykę klatki piersiowej według Lindhard'a (w % wartości przy postawie swobodnej).

Postawa	Pojemność życiowa płuc	Powietrze zalegające	Całkowita pojemność płuc
Swobodna postawa	100	100	100
Zwis prosty	96	—	—
Leżenie tyłem	95.5	101.5	95
Skłony głowy wtył, wprzód	95	—	—
„Allach", „ukłon japoński"	92	106	97
Zwis zgięty (mężczyźni)	90.5	105.5	93
Postawa (baczna)	90	118	95.5
Skręty tułowia	88.5	100	90.5
Skłony tułowia wdół	88.5	105	92
Skłon napięty	78	125.5	88
Boczne skłony tułowia	77	111	86.5
Skłony tułowia wtył	75	101	84
Stanie na rękach z pomocą (oparciem)	71	121.5	85
Zwis zgięty (kobiety)	67	120	82

Utrudnienie oddechu podczas wyżej przytoczonych zespołów ruchowych nie ogranicza się wyłącznie do fazy wydechowej: zakłócenie oddychania przejawia się albo w zahamowaniu amplitudy wdechu, albo też jednocześnie wdechu i wydechu.

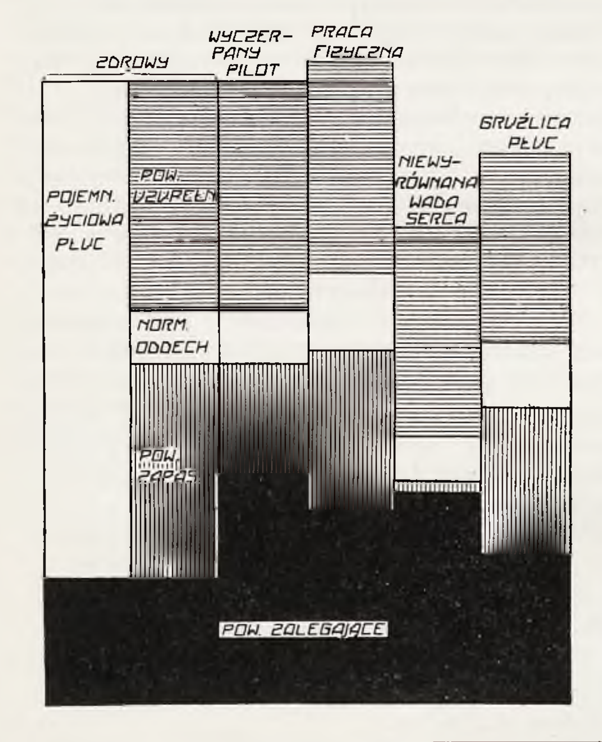
---

[1] *Bohr, Ch.:* Dtsch. Arch. klin. Med. 88 (385). 1907.
[2] *Hasselbalch, K.:* Dtsch. Arch. klin. Med. 93 (64). 1908.
[3] *Wilson:* Journ. of Physiol. 64 (54). 1927—28.
[4] *Lindhard, J.:* Skand. Arch. Physiol. 47 (188). 1926.

Ruchy, krępujące mechanikę oddychania oraz stanowiące w przeważnej części składowe elementy różnych rodzajów pracy zawodowej, uwidaczniają się w odnośnych zmianach poszczególnych części pojemności dróg oddechowych oraz wpływają naogół na zmniejszenie pojemności życiowej płuc. Przykładem mogą być zmiany, wywołane pracą na cykloergometrze według *Lindhard*'a [1]:

	Powietrze oddechowe	Pow. rezerw.	Pow. uzupełn.	Poj. życ. płuc	Pow. zaleg.	Średnia pojemn. płuc	Całk. poj. płuc
	l	l	l	l	l	l	l
Spoczynek	0.93	1.77	1.50	4.20	1.46	3.69	5.66
Praca	2.18	0.80	0.86	3.84	1.52	3.41	5.36

Występujące podczas i po pewnych rodzajach pracy zwiększenie ilości powietrza zalegającego oraz wynikający stąd wzrost średniej czy też normalnej pojemności płuc może stanowić czynnik, który przez rozszerzenie powierzchni czynnych naczyń włoskowatych sprzyja warunkom krążenia płucnego podczas pracy. Średnia pojemność płuc (Mittelkapazität) przedstawia, według *Bohr*'a [2], pojemność w stanie równowagi kinetyki oddechowej oraz równa się sumie powietrza zalegającego i zapasowego.



Rys. 26. Schemat danych wartości spirometrycznych u osobników zdrowych, wyczerpanych, chorych oraz pracujących fizycznie. (Hofbauer w/g danych Durig'a, Flack'a, Forschbach'a i Bittorf'a, Hasselbalch'a, Siebeck'a, Peabody).

[1] *Lindhard, J.:* The theory of gymnastics. 1934.
[2] *Bohr, Ch.:* loc. cit.

Spadek pojemności życiowej płuc, dochodzący do 15—17% opisywali po wysiłkach długotrwałych *Zuntz* i *Schumburg* [1], *Loewy* [2], *Szulc* [3], *Schenk* [4], *Schick* i *Grünberg* [5], *Missiuro* [6].

Redukcję pojemności życiowej płuc po wysiłku trwałym (np. 3-dniowy bieg patroli narciarskich) nieustępującą całkowicie nawet po 24 i 48 godz. wypoczynku *(Missiuro)*, należy powiązać częściowo z trwaniem znużenia układu ruchowego (łącznie ze znużeniem mięśni oddechowych) po jego dłuższej nadczynności. W pochodzeniu omawianego zmniejszenia pojemności życiowej (rys. 26) płuc należy podkreślić możliwość trwania przez pewien czas po wysiłkach forsownych pozostałości kompensacyjnego rozszerzenia (rozciągnięcia) pęcherzyków płucnych, czyli stanu volumen pulmonum auctum. Zjawisko to może mieć miejsce przy wysiłkach, wykorzystujących całą rezerwę własności elastycznej tkanki płucnej w warunkach ostrych zmian ciśnienia śródklatkowego, a nawet często zahamowanego oddechu.

Systematyczne uprawianie wysiłków fizycznych, wywołujących zakłócenie równowagi kinetyki wdechu i wydechu, kiedy wydech odbywa się z pokonywaniem oporu (wydmuchiwanie szkła, gra na instrumentach dętych) lub jest zatrzymywany (dźwiganie ciężarów) prowadzi do stałego kompensacyjnego stanu volumen pulmonum auctum. Stan powyższy, będący wyrazem wyzyskania całej rezerwy elastyczności i rozszerzenia powierzchni oddechowej płuc, cechuje pełnowartościowa wydolność funkcji oddychania. Praca fizyczna, wywołująca opisane stany kompensacyjnego rozszerzenia płuc, nie stanowi jednak sama przez się podłoża do rozwoju istotnej rozedmy płuc *Podkaminsky* [7]*)*. Czynnikami decydującemi w posunięciu ewolucji zmian płucnych do rozedmy płuc są w tych warunkach pracy predyspozycje konstytucyjne, dłuższe działanie zanieczyszczeń powietrza drażniących, względnie uszkadzających błonę śluzową dróg oddechowych (pył organiczny i nieorganiczny, gazy) oraz zmiany degeneracyjne naczyń i miąższu płucnego, w następstwie stanów chorobowych, lub też wpływów podeszłego wieku.

Zmiany pojemności życiowej płuc po pracy stanowią, według *Wachholder*'a [8], swego rodzaju miernik ogólnej sprawności fizycznej. Spadek pojemności życiowej do ½ l. i więcej po biegu 150—200 m, a szczególnie niewyrównanie tych zmian po 2—3 min wypoczynku, wskazywałoby na niedostateczny stopień usprawnienia osobnika.

---

[1] *Zuntz u. Schumburg*, Physiologie des Marsches. 1901.
[2] *Loewy, A.:* Die sportärztl. Ergebn. d. olymp. Wintersp. St. Moritz. 1928.
[3] *Szulc, G.:* Przegl. Sport.-Lek. 2 (173). 1930.
[4] *Schenk, P.:* loc. cit.
[5] *Schick, J.* u. *Grunberg, A.:* loc. cit.
[6] *Missiuro, W.:* loc. cit.
[7] *Podkaminsky, N.:* Arbeitsphysiol. 1 (577). 1930.
[8] *Wachholder, K.:* Klin. Wschr. 7 (295). 1928.

Podobnie do próby *Wachholder'a*, określenie pojemności życiowej płuc nabiera cech dynamiki fizjologicznej przy zastosowaniu 5-krotnych pomiarów z 4—5 sek. przerwami (*Missiuro*[1]). Utrzymanie pojemności życiowej płuc na jednym poziomie o wahaniach poniżej 300 cm³ świadczy do pewnego stopnia o wysokiem usprawnieniu fizycznem. Wahania krzywej spirometrycznej, przekraczające 300 cm³ ujawniają jednostki mniej sprawne, mało wytrzymałe w wysiłkach długotrwałych. Niedostateczną wydolność aparatu oddechowego i krążenia krwi wykazuje stopniowe obniżenie danych spirometrycznych ku końcowi próby lub też wahania pojemności życiowej płuc dochodzące do 1 l i więcej.

W powyższem ujęciu dane pojemności życiowej płuc mogą odgrywać rolę próby funkcjonalnej, uzupełniając pomiary pojemności spoczynkowej, jako elementu statycznego. Informując bowiem o granicach możliwości świadomego zwiększenia amplitudy oddechu, pojemność życiowa płuc sama przez się nie daje wskazań o stopniu wykorzystania tych możliwości w chwilach maksymalnego zapotrzebowania tlenowego podczas pracy. Próbą oceny maksymalnej wielkości amplitudy oddechu podczas wysiłku jest zaproponowane przez *Goiffon'a*[2] określenie największej objętości oddechu („pojemności życiowej odruchowej"), jaka występuje przy oddychaniu w systemie zamkniętym przy wzrastającym ubytku tlenu i nagromadzaniu się dwutlenku węgla.

Mechanika oddychania a rytm pracy.

W ustaleniu należytych warunków dla skutecznej wentylacji płuc duże znaczenie przy niektórych postaciach pracy mięśniowej przedstawia uzgodnienie mechaniki oddychania z czynnością układu ruchowego. Automatyczne dostosowanie rytmiki oddechu do rytmu czynności motorycznych znajduje najjaskrawszy wyraz podczas wysiłków fizycznych długotrwałych, odznaczających się przewagą elementów pracy dynamicznej. Synchronizacja dynamiki oddechu z mechaniką układu ruchowego, idąca po linji autoregulacji indywidualnych norm rytmu optymalnego, cechuje więc rodzaje pracy, dokonywanej w warunkach stanu równowagi fizjologicznej (steady state).

Jako przejaw koordynacji funkcjonalnej, podporządkowanie się okresowości i amplitudy oddechu do zgóry ustalonego rytmu pracy utrzymuje się w pewnych granicach równolegle do zmian rytmu i intensywności pracy. Tą drogą np. przy pracy na cykloergometrze ze stałą szybkością 64 obrotów na min. stosunek rytmu oddechowego do wielkości pracy przy stopniowym wzroście obciążenia wynosił w doświadczeniach *Christensen*'a[3] 1 : 6, 1 : 4 i 1 : 2.

Praca kgm/min	Wentylacja płuc l/min	Rytm oddech.	Głębokość oddechu cm³	Zużycie O_2 cm³/min
Spoczynek	8.7	9.1	955	270
720	37.1	11.3	3280	1930
1200	59.5	16.7	3560	2968
1440	73.2	16.3	4490	3408
1680	96.4	30.6	3140	3749
1920	112.3	32.5	3460	4670

[1] *Missiuro, W.:* Laborat. fizjolog. na usług. wych. fiz. i sportu. 1925.
[2] *Goiffon, R.:* C. R. Soc. Biol. 99 (188). 1928.
[3] *Christensen, H.:* Arbeitsphysiol. 5 (463). 1932.

Przy zmianie tempa pracy na cykloergometrze (*Lindhard*[1], *Hansen*[2]), synchronizacja częstości oddechów z ruchami pedałów ustępuje pod względem dokładności uzgodnieniu rytmu oddechowego ze zmianami wentylacji płuc.

Uzgodnienie rytmu oddechowego z ruchami lokomocyjnemi opisał *Anders*[3], w narciarstwie *Liljestrand* i *Stenström*[4], *Knoll*[5], przy wiosłowaniu *Liljestrand* i *Lindhard*[6], *Knoll* i *Schreiber*[7] i inni oraz w naszem laboratorjum *Preisler*[8]. Przy pracy, dokonywanej w warunkach autoregulacji jej tempa, rytm ruchów podporządkowuje się najczęściej naturalnemu rytmowi oddechowemu, właściwemu dla każdego osobnika.

Efimoff i *Arschawski*[9] zanotowali synchronizację rytmu oddechowego z ruchami pracy drwali, piłujących podłużne drewna. Takie nastawienie kinetyki oddychania łączyło się przytem ze znaczną efektywnością wentylacji płuc, na co wskazywało wyrównanie niedoboru tlenowego okresu pracy w ciągu bardzo krótkiego wypoczynku.

Przykładem wyjątkowego znaczenia koordynacji mechaniki oddychania z rytmem czynności motorycznych może być pływanie. Jak wykazali *Liljestrand* i *Stenström*[10], a ostatnio w naszem laboratorjum *Schmelkes*[11], autoregulacja oddychania podczas pływania odbywa się w pewnej mierze świadomie, szczególnie przy stylu pływania, wymagającym okresowego zanurzenia głowy do wody (crawl). Ruchy wdechowe odpowiadają całkowicie ruchom ramion pływaka.

Uzgodnienie rytmu oddechowego z ruchami i tempem pracy zależne jest od stopnia utrwalenia koordynacyj motorycznych danego rodzaju czynności. Równolegle do opanowania zasadniczych elementów postępuje adaptacja mechaniki oddychania. Ta ostatnia wytwarza się automatycznie nawet u niewytrenowanych osobników przy powolnem tempie niektórych form ruchu (np. wiosłowanie). Praca mięśniowa o koordynacji motorycznej bardziej złożonej (np. przy pływaniu) wymaga dłuższego czasu na ukształtowanie się odpowiedniego typu oddychania. Zakłócenie równoległości rytmu oddechu z rytmem pracy, jakie może mieć miejsce przy znacznem zwiększeniu szybkości i intensywności, występuje częściej u osobników niewytrenowanych.

---

1 *Lindhard, J.:* Pflüg. Arch. 161 (233). 1915.
2 *Hansen, E.:* Skand. Arch. f. Physiol. 54 (50). 1928.
3 *Anders:* Pflüg. Arch. 220 (287). 1928.
4 *Liljestrand, G.* u. *Stenström, N.:* Skand. Arch. f. Physiol. 39 (167). 1920.
5 *Knoll, W.:* Arzt und Skilauf. Jena. 1927.
6 *Liljestrand, G.* u. *Lindhard, J.:* Skand. Arch. f. Physiol. 39 (215). 1920.
7 *Knoll, W.* u. *Schreiber, C.:* Arbeitsphysiol. 7. 1933.
8 *Preisler:* Przegl. Fizjol. Ruchu. 3/4. 1935—36.
9 *Efimoff* i *Arschawski:* Arbeitsphysiol. 2. 1929.
10 *Liljestrand, G.:* u. *Stenström, N.:* Skand. Arch. f. Physiol. 39 (1). 1920.
11 *Schmelkes, B.:* Przegl. Fizjol. Ruchu. 3/4. 1935—36.

Inne nastawienie mechaniki oddychania od wyżej opisanego towarzyszy wysiłkom fizycznym o przeważającym charakterze pracy statycznej. Przy wszystkich postaciach pracy, wymagających unieruchomienia klatki piersiowej lub tułowia, czynność oddychania ulega charakterystycznym wpływom, wytwarzającym zespół warunków, które zbliżone są do zjawisk, składających się na wysiłek sercowo-oddechowy podczas klasycznego doświadczenia Valsalvy. Typowy obraz adaptacji oddychania do swoistych warunków motoryki tych wysiłków, zazwyczaj krótkotrwałych, ujawnia 3 zasadnicze okresy: 1) głęboki wdech, 2) okres napięcia (stan apnoe w położeniu wydechowem przy zamkniętej szparze głosowej) oraz 3) wydech i przywrócenie oddychania normalnego. Przejście od wdechowego przyrostu ciśnienia ujemnego klatki piersiowej do jego spadku a nawet do ciśnienia dodatniego podczas II-go okresu wysiłku wywiera przytem głębokie zmiany w normalnym przebiegu krążenia dosercowego i dynamiki serca (*Missiuro*[1], *Cassinis*[2]).

Warunki wstrzymania oddechu charakteryzują w pierwszym rzędzie wszystkie rodzaje pracy o typie wysiłków siłowych, jak np. dźwiganie ciężarów, pokonywanie bezwładności naładowanego wózka, walki zapaśnicze i t. p. Dłużej lub krócej trwające zahamowanie normalnego przebiegu oddychania uwydatnia się nadto przy wielu innych okolicznościach, a więc przy ćwiczeniach gimnastycznych na przyrządach, niektórych ćwiczeniach, jak np. skłony napięte, zwisy, przy rzutach, skokach, przy pewnych formach pływania (crawl), nurkowaniu, w mniejszym lub większym stopniu przy ćwiczeniach szybkościowych (sprintach), a nawet przy zwykłych biegach w chwilach dobiegu (finish'u). Warunki przejścia do normalnego rytmu oddechowego w chwili ukończenia wysiłku zależne są od rodzaju wykonywanego zespołu motorycznego. Np. moment rzutu, czy też pchnięcia, łączy się z ruchem wydechowym (*Knoll*[3]).

Większość różnych rodzajów pracy zawodowej, odznaczających się przewagą zmechanizowanych ruchów izolowanych, nie wytwarza wyżej opisanych ostrych zmian oddychania. Podporządkowując się rytmowi czynności wytwórczej tylko w wyjątkowych warunkach pracy seryjnej, mechanika oddechu obfituje najczęściej w krótkotrwałe momenty mniej lub więcej zaznaczonych zmian ciśnienia wewnętrzpłucnego w chwilach unieruchomienia tułowia przy znaczniejszych wysiłkach. Wstrzymanie oddechu z wysiłkiem wydechowym towarzyszy np. chwili uderzenia młotem i t. p. Poziom udoskonalenia koordynacji nerwowo-mięśniowej oraz indywidualne cechy całokształtu mechanizmów adaptacyjnych mogą stanowić tu o dużych różnicach nastawienia rytmiki i głębokości oddechu.

---

1 *Missiuro, W.:* Przegl. Sport.-Lek. III (1). 1931.
2 *Cassinis, U.:* Giorn. di medic. milit. III. 1927.
3 *Knoll, W.:* Der Bewegungsablauf bei sportlicher Arbeit. 1936.

Regulacja zaopatrzenia tlenowego.

Stopień utylizacji tlenu krwi tętniczej.

Własność wykorzystania tlenu krwi tętniczej, oznaczana przez *Krogh'a* [1], [2], jako iloraz utylizacji tlenu, jest miarą stopnia redukcji krwi przy oddawaniu w naczyniach włoskowatych części zawartego w niej tlenu do płynu śródtkankowego. O ile więc np. zużycie tlenu badanego osobnika wynosi 270 cm^3 na min. przy objętości minutowej serca 4.8 ltr. — wówczas 1 l. krwi oddaje tkankom $\frac{270}{4.8} = 56.25$ cm^3 tlenu. Przy 185 cm^3 tlenu wiązanego przez 1 l. krwi iloraz utylizacji będzie stanowić dla danego przypadku $\frac{56.25}{185} = 0.30$.

Iloraz utylizacji tlenu może być określony również jako różnica zawartości tlenu we krwi tętniczej i żylnej, podzielona przez stopień zdolności wiązania tlenu przez 100 cm^3 krwi badanego osobnika. O ile np. różnica zawartości tlenu we krwi tętniczej i żylnej wynosi 5.5 cm^3 na 100 cm^3 krwi, wówczas, przy normalnej zdolności krwi wiązania 18.5 cm^3 tlenu (standard *Haldane'a)*, iloraz utylizacji tlenu równa się $\frac{5.5}{18.5} = 0.29$.

Stopień utylizacji tlenu całego ustroju waha się w spoczynku w granicach od 0.20 do 0.40. Stopień wyzyskania tlenu krwi jest różny w różnych narządach, zależnie od ich rozwoju, stanu czynnościowego oraz zachłanności na tlen.

Podczas pracy mięśniowej umiarkowanej iloraz utylizacji tlenu dla całego ustroju może wzrastać wdwójnasób i wyżej *(Boothby* [3], *Fridericia* [4]*)*. Podczas czynności całego układu ruchowego iloraz ten dochodzi do 0.50 — 0.70 *(Lindhard* [5]*)*, zaś w przypadkach pracy intensywnej większości mięśni ciała może osiągać nawet 0.93.

Podobnie do następstw pracy całego ustroju, funkcja utylizacji tlenu podczas pracy mięśnia izolowanego ulega wzmożeniu. W doświadczeniach *Verzar'a* [6] omawiany iloraz wzrasta podczas skurczu tężcowego z 0.24 (w spoczynku) do 0.40 przy jednoczesnem przyśpieszeniu przepływu krwi.

Douglas i *Haldane* [7] ustalają zależność pomiędzy intensywnością pracy a wielkością ilorazu utylizacji tlenu. Z badań tych autorów wynika, że wzrost utylizacji tlenu jest w stosunku prostym do zwiększenia intensywności pracy mięśniowej.

---

1 *Krogh, A.:* Skand. Arch. f. Physiol. 23. 1910.
2 *Krogh, A.:* Journ. of Physiol. 52 (457). 1912.
3 *Boothby, W. M.:* Amer. J. of Physiol. 37 (383). 1915.
4 *Fridericia:* Biochem. Zschr. 85 (308). 1918.
5 *Lindhard, J.:* Pflüg. Arch. 161 (233). 1915.
6 *Verzar, F.:* loc. cit.
7 *Douglas, C. G.* a. *Haldane, J. S.:* Journ. of. Physiol. 45 (235). 1912.

Wpływ pracy mięśniowej na iloraz utylizacji tlenu.

Warunki:			Iloraz utylizacji O_2
Spoczynek (leżąc)			0.190
„ (siedząc)			0.225
Praca na ergometrze	103	kg/min	0.430
„ „	264	„	0.496
„ „	512	„	0.610
„ „	752	„	0.640

Mechanizm wzrostu utylizacji tlenu krwi tętniczej podczas pracy mięśniowej jest wypadkową współdziałania czynników: 1) poziomu zużycia tlenu w tkankach, 2) różnicy ciśnień parcjalnych tlenu we krwi i tkankach, 3) szybkości dyfuzji tlenu w kapilarach. 4) szybkości przepływu krwi w kapilarach, 5) przebiegu dysocjacji oksyhemoglobiny.

Utylizacja tlenu jest proporcjonalna do stopnia zużycia tego gazu przez tkanki. Wzrost ilorazu utylizacji, związany z nadczynnością tkanki mięsnej, zależny jest nadto w dużym stopniu od warunków krążenia. Zasadniczym czynnikiem, wzmagającym utylizację tlenu podczas pracy, jest zwiększenie czynnej powierzchni kapilarów *(Krogh* [1]*)*. Wzmożona utylizacja tlenu może być uwarunkowana oraz podtrzymywana wyłącznie przez zwiększoną objętość minutową serca. Ta ostatnia okazuje linijną zależność z funkcją zużycia tlenu podczas pracy, dokonywanej przy zużyciu tlenu od 250 do 2400 cm^3 na min. *(Bock, Dill* i współprac. [2]). Mniej sprzyjające warunki krążenia w mięśniach, wykonywujących pracę statyczną, powodują obniżenie ilorazu utylizacji tlenu *(Lindhard* [3]*)*.

Zmiany utylizacji tlenu podczas pracy (według *Lindhard'a)*.

		Zużycie tlenu cm^3/min	Objętość minutowa serca (l)	Iloraz utylizacji tlenu
(1)	Spoczynek	310	5.0	0.30
	Praca (a)	1630	17.05	0.47
	„ (b)	2089	19.65	0.55
(2)	Spoczynek	248	4.3	0.31
	Praca (a)	1410	12.1	0.63
	„ (b)	1893	14.4	0.70

Zmiany szybkości przepływu krwi w kapilarach, związane ze wzrostem objętości minutowej serca oraz wykazujące skłonność do przyśpieszenia, są wyrównywane przez rozszerzenie kapilarów czynnych i zwiększenie ich liczby w mięśniach pracujących. Znaczne powiększenie łożyska krążenia w kapilarach może powodować w nich nawet zwolnienie szybkości przepływu krwi, zwiększając czas dyfuzji gazów przez ścianki kapilarów.

---

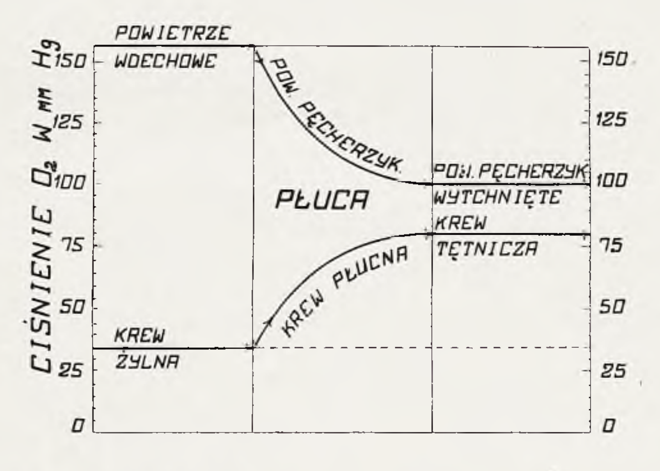
[1] *Krogh, A.:* The anatomy and physiologie of capillaries. 1922.

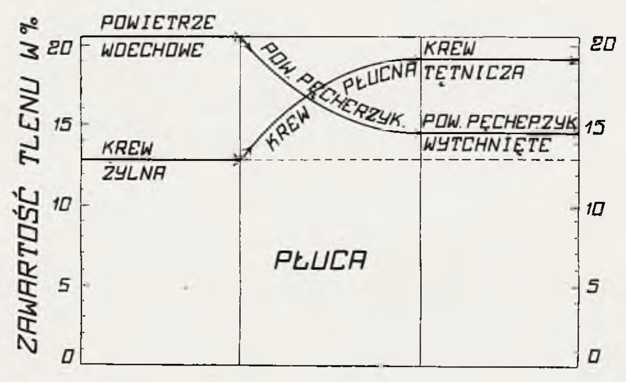
[2] *Bock, A. V., Dill, D. B.* i inn.: J. of biol. Chem. 73 (749) 1927, 74 (303). 1927.

[3] *Lindhard, J.:* loc. cit.

Dyfuzja gazów, decydująca w przechodzeniu tlenu z przestrzeni pęcherzykowej do kapilarów płucnych, określa się ilością cm^3 gazu (0^0,760 mm Hg) dyfundującego na 1 min. przy różnicy ciśnienia 1-ej atmosfery przez 1 cm^2 powierzchni ścianki grubości 0.001 mm, oddzielającej atmosferę pęcherzyków od zawartości kapilarów (*Krogh*[1]). Grubość ścianki pęcherzyków, wynosząca około 0.004 mm, jak również jej przenikliwość dla gazów mogą okazywać dość duże różnice indywidualne (*M. Krogh*[2]). Około 1/5 — 1/8 powierzchni pęcherzykowej, stanowiącej w całości blisko 90 m^2, wystarcza do podtrzymania należytego poziomu wymiany gazowej w stanie spoczynku.

Bezpośrednim czynnikiem, pędzącym tlen i dwutlenek węgla w przeciwnych kierunkach poprzez ściany pęcherzyków płucnych,





Rys. 27. Zmiany zawartości tlenu w poszczególnych odcinkach wymiany gazowej. (Peters i Van Slyke).

[1] *Krogh, A.* u. *Krogh, M.:* Skand. Arch. f. Physiol. 23 (236). 1910.
[2] *Krogh, M.:* Journ. of Physiol. 49 (271). 1915.

jest różnica ciśnień tych gazów w powietrzu pęcherzykowem i krwi żylnej:

	Tlen	Dwutlenek węgla
Powietrze pęcherzykowe	100.0 — 107.0 mm Hg	35.0 — 45.0 mm Hg
Krew żylna	33.6 — 48.3 „	48.3 — 60.4 „
Krew tętnicza	98.0 — 106.0 „	44.6 — 54.7 „

Zarówno w stanie spoczynku, jak i podczas pracy, ciśnienie parcjalne tlenu w powietrzu pęcherzykowem zawsze przewyższa prężność tlenu we krwi żylnej. Prężność dwutlenku węgla we krwi tętnicy płucnej różni się natomiast mniej od ciśnienia tego gazu w pęcherzykach płucnych. Wynika to z dużej szybkości dyfuzji dwutlenku węgla — większej około 25 razy, w porównaniu z procesem dyfuzji tlenu.

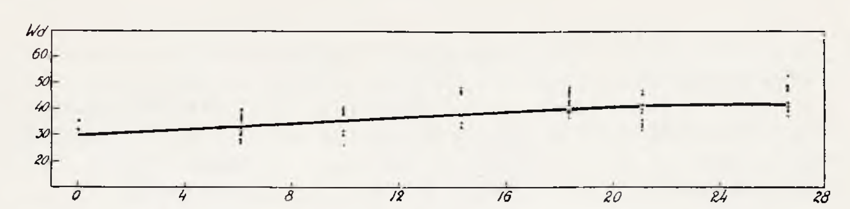
Podczas pracy ciśnienie tlenu w pęcherzykach płucnych wzrasta, utrzymując się przeciętnie na poziomie około 100 — 112 mm Hg (*Dill*[1] i współpracown.). Wzmożenie szybkości dyfuzji tlenu przyśpiesza się wobec jednoczesnego obniżenia prężności tlenu we krwi żylnej. Różnica ciśnienia O_2 w powietrzu pęcherzykowem i krwi żylnej, dopływającej do płuc, utrzymująca proces dyfuzji, dochodzi podczas pracy, według *Dill'a* i współpracown., do 57 — 90 mm Hg. Z badań *A.* i *M. Krogh'ów*[2] wynika, że różnica ciśnień, zredukowana nawet do 3 — 4 mm Hg (według *Dill'a* 1 — 4 mm Hg), wystarcza do skuteczności procesu dyfuzji tlenu z pęcherzyków do krwi, dostarczając około 340 cm^3 tlenu na min.

Normalnym potrzebom wydalania około 215 cm^3 dwutlenku węgla w spoczynku może zadośćuczynić różnica ciśnienia w pęcherzykach i krwi nawet tylko o 0.03 mm Hg (*Starling*[3]). Zjawiska dyfuzji gazów wydają się zatem być tym procesem, który w warunkach normy jest w stanie pokryć najbardziej wzmożone potrzeby wymiany gazów w płucach.

Wydolność funkcji zaopatrzenia tlenowego zależna jest od odnośnych zmian wysokości współczynnika dyfuzji gazów, określonego przez *M. Krogh'a* ilością cm^3 gazu dyfundującego na 1 min. z płuc do krwi przy 1 mm Hg różnicy ciśnienia. Współczynnik ów waha się w spoczynku, zależnie od osobnika od 23.7 do 43.3 (*Krogh*[2], *Boje*[4]), oraz wzrasta podczas pracy mięśniowej do 37 — 56.1. Wzrost współczynnika dyfuzji tlenu zależny jest w pierwszym rzędzie od wzmożenia ukrwienia czynnych mięśni, indywidualnej przepuszczalności ścianek oraz liczby i wielkości przewietrzanych pęcherzyków. Znaczenie warunków krążenia dla procesów dyfuzji tlenu w płucach przedstawia ustalona przez *Boje* współzależność pomiędzy omawianym współczynnikiem a objętością minutową serca (rys. 28).

---

[1] *Dill, D. B.* i inni: loc. cit.
[2] *Krogh, A. M.:* loc. cit.
[3] *Starling's:* Principles of Human Physiology. 1933.
[4] *Boje, O.:* *Arbeitsphysiol.* 7 (157). 1933.



Rys. 28. Współczynnik dyfuzji tlenu (rzędne) a objętość minutowa serca (odcięte) w l/min (Boje).

Maksymalne wielkości współczynnika dyfuzji tlenu 68.0 i 77, opisane przez *Boje*[1] oraz odpowiadające 4.2 l. i 4.7 l. zużyciu tlenu na min. podczas bardzo intensywnej pracy (na cykloergometrze) są prawdopodobnie górną granicą wydolności procesu dyfuzji tlenu w płucach. Należy przypuszczać, że szybkość dyfuzji tlenu stanowi jeden z czynników, ograniczających wydajność zaopatrzenia tlenowego przy większem jego zapotrzebowaniu. Efektywność procesu dyfuzji tlenu jest niższa u osobników mniej usprawnionych fizycznie, jak również w stanach chorobowych, np. przy rozedmie płuc *(Himwich* i *Loebel*[2]*)*.

Opisane zjawiska wymiany gazów w płucach i utylizacja tlenu zależą w dużym stopniu od różnicy ciśnienia tlenu we krwi i tkankach. Ciśnienie tlenu w mięśniach, wynoszące w spoczynku od 40 do 10 mm Hg, spada podczas pracy w rezultacie wzrostu zapotrzebowania tkanki na tlen. Zwiększenie podczas pracy mięśniowej różnicy ciśnienia tlenu we krwi tętniczej i w tkankach przyśpiesza dyfuzję tego gazu z kapilarów. Wzrost szybkości przechodzenia tlenu do tkanek częściowo uwarunkowany jest też podniesieniem podczas pracy ciepłoty ciała.

Zwiększenie liczby czynnych kapilarów, jak również ich rozszerzenie w mięśniach *(Krogh*[3]*)* przyczynia się do spadku prężności tlenu we krwi żylnej (do 12 mm Hg według *Campbell'a*[4]), odpływającej od narządów pracujących. Ciśnienie tlenu w mięśniach spada prawdopodobnie do zera, jak to utrzymuje *Verzar*[5], nawet dla mięśni nieczynnych.

Stan kapilarów mięśni w spoczynku i podczas pracy (w/g *Krogh'a*).

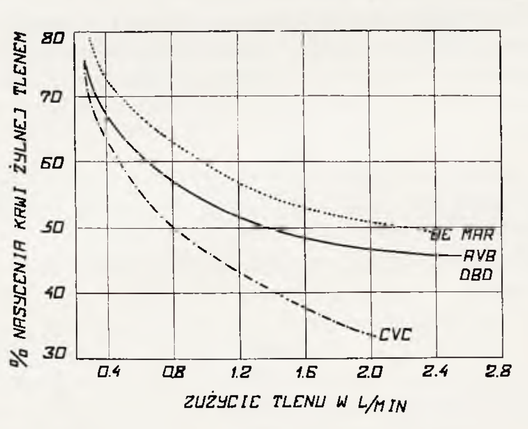
Stan mięśni	Zużycie O_2 na min w % objętości tkanki	Liczba kapilarów w 1 mm² poprzeczn. przekroju	Ogólna powierzchnia kapilarów w 1 cm² (Powierzchnia wym.)
Spoczynek	0.5	31	3
„	1.0	81	8
„	3.0	270	32
Masaż	5.0	1400	200
Praca	10.0	2500	390
Ukrwienie maksym.	15.0	3000	750

[1] *Boje, O.*: loc. cit.
[2] *Himwich, H.* a. *Loebel, R.* cyt. w/g *Schneider, E.:* Physiol. of Muscular Activity. 1933.
[3] *Krogh, A.:* loc. cit.
[4] *Campbell, J. A.:* Journ. of Physiol. 60 (347) 1925.
[5] *Verzar, F.:* loc. cit.

Obniżenie zawartości tlenu we krwi żylnej oraz równoległy spadek ciśnienia tego gazu w tkankach czynnych osiągają wybitniejszy stopień, zależnie od intensywności pracy. Zmiany powyższe są mniej zaznaczone u osobników wytrenowanych.

Różnice w adaptacji mechanizmów zaopatrzenia w tlen u jednostek wytrenowanych i niewytrenowanych polegają przedewszystkiem na lepszem wyzyskaniu tlenu krwi tętniczej u pierwszych. Wzrost ilorazu utylizacji tlenu u wytrenowanych zmniejsza wymagania, stawiane przez pracę mięśniową funkcji krążenia. Natomiast u niewytrenowanych wzmożone zapotrzebowanie na tlen („call of oxygen") pokrywa się głównie na drodze znaczniejszej pracy serca (zwiększenia objętości minutowej), w mniejszym stopniu przy udziale wzrostu funkcji utylizacji tlenu krwi tętniczej.

Stopień zapotrzebowania na tlen w narządach czynnych uwidacznia się w niskim poziomie zawartości tlenu w odpływającej z nich krwi żylnej. Krótkie intensywne ćwiczenie (wbieganie na schody) powodowało w doświadczeniach *Lundsgaard'a* i *Moeller'a* [1] obniżenie we krwi żylnej ilości Hb utlenionej od 60 — 85% poziomu normalnego do 25 — 35%. Postępujący spadek zawartości tlenu we krwi żylnej wzrasta zależnie od intensywności pracy, co ilustruje wykres 29 z danych *Bock'a, Dill'a* i współpr. [2]. Praca mięśnio-



Rys. 29. Zawartości tlenu we krwi żylnej 4-ch osobników podczas pracy o wzrastającem natężeniu. Maksymalne natężenie pracy odpowiada 2.4 l/min zużycia tlenu. De Mar — osobnik najlepiej wytrenowany, CVC — niewytrenowany. (Bock. Dill i współpr.).

wa redukuje zawartość tlenu nietylko w krwi odpływającej z mięśni pracujących, lecz również i we krwi z grup mięsnych, nieprzyjmujących bezpośrednio udziału w pracy. Wyniki analiz krwi żylnej mieszanej pozwalają przypuszczać, że ciśnienie tlenu w mięśniach i niektórych gruczołach (wątroba) może zbliżać się podczas wzmożonej czynności nawet do 0 (*Green* [3], *Barcroft* i *Shore* [4]).

---

1 *Lundsgaard, C.* a. *Moeller, E.:* Journ. biol Chem. 55 (315). 1923.
2 *Bock, A., Dill, D.* i współprac.: Journ. of Phys. 66 (136). 1928.
3 *Green, C.* cyt. w/g *Peters* a. *Van Slyke:* Quantit. Clin. Chem. 1931.
4 *Barcroft, J.* a. *Shore, L.:* Journ. of Physiol. 45 (296). 1912—13.

Niewydolność urządzeń, wyrównywujących ubytek tlenu we krwi, przy podobnie intensywnem wyzyskaniu tlenu krwi tętniczej w następstwie zmian zarówno nasycenia Hb tlenem, jak i redukcji HbO_2, wytwarza warunki niedoboru tlenowego, likwidowanego dopiero podczas wypoczynku.

Ilość tlenu, zużywanego przez tkanki, różni się zależnie od ich rodzaju oraz intensywności pracy. Ilość ta może być wyrażona współczynnikiem oksydacji *(Barcroft)*, oznaczającym ilość tlenu w cm^3, zużywanego na minutę przez gram danej tkanki. Wartość współczynnika oksydacji dla mięśnia prążkowanego wynosi w spoczynku 0.006 cm^3. Podczas lekkiego skurczu współczynnik ten wzrasta do 0.02 cm^3, podczas intensywnych czynności do 0.08 cm^3.

Funkcja oddechowa krwi.

Wiązanie tlenu przez hemoglobinę w płucach oraz oddawanie go na odcinku oddychania tkankowego są zasadniczo funkcją ciśnienia parcjalnego tego gazu. Ilość powstającej oksyhemoglobiny przy wzrastającem, poczynając od zera, ciśnieniu parcjalnem tlenu zwiększa się początkowo bardzo szybko, później jednak coraz wolniej. Naogół podniesienie ciśnienia tlenu ponad 150 mm Hg (przy 15^0 C) nie powoduje już dalszego wzrostu wiązania tlenu przez roztwór czystej (dializowanej) hemoglobiny. Hemoglobina jest wówczas maksymalnie nasycona tlenem. Ilość powstającej oksyhemoglobiny osiąga przytem poziom równy nasyceniu Hb przy 760 mm Hg ciśnienia tlenu.

Krzywa wiązania tlenu przez czysty roztwór Hb przy różnem ciśnieniu tego gazu zbliżona jest swym kształtem do prostokątnej hiperboli. Prócz zawartości powstałej oksyhemoglobiny wskazuje ona jednocześnie na ilość znajdującej się w roztworze Hb zredukowanej.

Rys. 30. Odcięte — ciśnienie O_2 w mm Hg; rzędne — nasycenie Hb tlenem (%). Linje przerywane: roztwór hemoglobiny — 1 w temperaturze pokojowej oraz 0 ciśnienia CO_2; 2 w temperaturze ciała oraz 0 mm Hg CO_2; 3 w temperaturze ciała i przy 20 mm Hg ciśnienia CO_2.

Linje ciągłe: krew. Linja tłusta — krzywa dysocjacji Hb O_2 przy stałem ciśnieniu 40 mm Hg CO_2. Linja cienka — krzywa dysocjacji w ustroju, kiedy zmniejszeniu zawartości O_2 towarzyszy wzrost ciśnienia CO_2 ułatwiający dysocjację oksyhemoglobiny. (S. Wright w/g Barcroft'a i Haldane'a).

Współzależność pomiędzy nasyceniem Hb tlenem a prężnością tego gazu decyduje zasadniczo o tem, że dysocjacja HbO_2, zdążająca do przywrócenia równowagi ciśnienia tlenu w tkankach i krwi, odbywa się łatwiej i pełniej w miarę obniżania zawartości tlenu w tkankach, pobudzonych do wzmożonej czynności. Podobnie i w płucach wyrównanie ciśnień po obu stronach ścianki pęcherzykowej jest główną dźwignią w procesach wiązania tlenu i wydalania dwutlenku węgla.

Kinetyka chemiczna reakcji hemoglobiny z tlenem, odbywająca się według równania: $Hb + O_2 \rightleftarrows HbO_2$, oraz podlegająca prawu działania mas, poza decydującym czynnikiem, jakim jest parcjalne ciśnienie tlenu, ulega jednak modyfikującym wpływom ze strony zawartych we krwi elektrolitów oraz jej oddziaływania.

Zwiększenie zawartości składników mineralnych, szczególnie zaś soli potasowych *(Barcroft* i *Camis*[1]*)* i zasadowości krwi zwiększa stopień nasycenia Hb tlenem. Odwrotnie — wzrost prężności CO_2 we krwi *(Bohr*[2]*)* lub też zwiększenie kwasoty tej ostatniej w następstwie zjawienia się kwasów nielotnych, jak np. kwasu mlekowego *(Barcroft* i *Orbeli*[3]*)* łączy się ze zmniejszeniem powinowactwa Hb do tlenu oraz płytszym przebiegiem krzywej dysocjacji HbO_2.

Nasycenie krwi ludzkiej przy różnych parcjalnych ciśnieniach O_2 i CO_2 (w % objętościach) według *Bock'a, Field'a* i *Adair'a*[4]*)*.

Prężność CO_2 w mm Hg	Prężność O_2 w mm Hg 5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
3	13.5	38.0	77.6	92.0	96.7	98.5	100	100	100	100	100
20	6.8	19.5	50.0	72.2	87.0	93.3	96.3	98.0	99	100	100
40	5.5	15.0	39.0	60.6	76.0	85.5	90.5	94.0	96.0	97.5	98.6
80	3.0	8.0	26.0	44.8	63.5	76.9	85.0	90.3	93.7	95.7	97.1

Jak widać z przebiegu krzywych dysocjacji oksyhemoglobiny przy różnej prężności CO_2 (rys. 31) ilość tlenu wiązanego przez Hb zmniejsza się ze wzrostem zawartości CO_2 we krwi, czyli ułatwia się proces rozkładu oksyhemoglobiny (efekt *Bohr'a)*.

Krzywa dysocjacji oksyhemoglobiny w odróżnieniu od klasycznej krzywej nasycenia czystego roztworu Hb zbliża się przytem do kształtu wyciągniętej litery S.

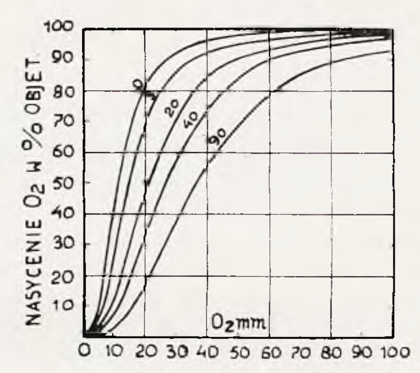
Nasycenie hemoglobiny tlenem we krwi waha się w warunkach normalnych od 94 — 97% *(Liljestrand*[5]*)*. Całkowita zawartość tlenu we krwi tętniczej wynosi wówczas średnio 17 — 20 cm^3 w 100 cm^3 krwi. Według *Haldane'a*[6] ilość tlenu we krwi tętniczej

---

[1] *Barcroft, J.* a. *Camis, M.:* Journ. of Physiol. 39 (118). 1909.
[2] *Bohr, Ch. a. Nagels:* Hndb. d. Physiol. d. Menschen. I. 1909.
[3] *Barcroft, J.* a *Orbeli, L.:* Journ. of Physiol. 41 (355). 1910.
[4] *Bock, A., Field, H.* a. *Adair, G.:* Journ. of biol. chem. 59 (353). 1924.
[5] *Liljestrand, G.:* Hndbch. d. norm. u. path. Physiol. 6.I.1928.
[6] *Haldane, J. S.:* Journ. of Physiol. 26 (502). 1901.

równa się u mężczyzn 18,5%, u kobiet 16,5% i dzieci 16,1%. Zawartość dwutlenku węgla waha się około 50%.

Nasycenie Hb tlenem we krwi żylnej mieszanej spada do 65 — 75%, co odpowiada 12 — 14% objętości. Zawartość dwutlenka węgla we krwi żylnej waha się od 53 — 55% objętości.



Rys. 31. Krzywe dysocjacji HbO_2 przy różnych prężnościach CO_2 (w/g Barcroft'a).

Podczas pracy krótkotrwałej nasycenie krwi tlenem może okazywać nawet pewien wzrost, łącznie z obniżeniem zawartości dwutlenku węgla (*Verzar* [1], *Himwich* i *Barr* [2]). Dopiero wysiłki bardziej intensywne lub długotrwałe powodują wyraźniejszy spadek nasycenia krwi tlenem, który jednak mało wpływa na ogólną ilość przenoszonego z krwią tlenu. W badaniach *Harrop'a* [3] nasycenie tlenu spada po ukończeniu intensywnej pracy z 95,6 do 85,5%.

Wykonywanie pracy umiarkowanej przy obniżonem ciśnieniu atmosferycznem powoduje bardziej wyraźny spadek nasycenia krwi tlenem. W doświadczeniach *Barcroft'a* [4] i współpracowników przy pracy podczas pobytu w komorze dekompresyjnej (przy 84 mm Hg parcjalnego ciśnienia tlenu) nasycenie tlenem krwi spadało od 88% do 83%. Zawartość tlenu we krwi podczas pracy mięśniowej, wykonywanej w warunkach ciśnienia normalnego, pozostaje zatem w granicach bardzo nieznacznych wahań, które same przez się w powstaniu zjawisk ewentualnego niedotleniania tkanek wybitniejszej roli nie odgrywają.

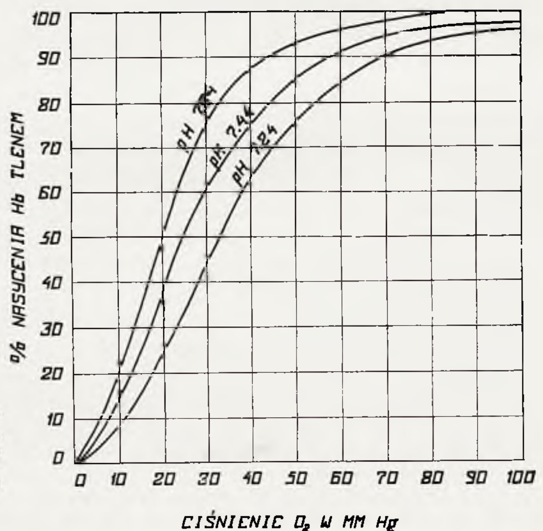
Umiarkowane zakwaszenie krwi podczas pracy, zmniejszając powinowactwo Hb do tlenu oraz spłaszczając krzywą dysocjacji Hb O_2 (zbliżając krzywą do typu krwi mejenektycznej), w warunkach normalnego ciśnienia barometrycznego nieznacznie tylko wpływa na stopień nasycenia tlenem Hb w płucach. Stanowi natomiast dla dysocjacji HbO_2 czynnik sprzyjający. Podkreślone przez

1 *Verzar, F.* cyt. w/g. *Liljestrand'a:* Hndbch. d. norm. u. pathol. Physiol. 6.I.1928.
2 *Himwich, W.* a. *Barr, D.* Journ. of biol. chem. 57 (363). 1923.
3 *Harrop, G. cyt. w g. Liljestrand'a:* loc. cit.
4 *Barcroft, J., Cooke, A.* i inni: Journ. of. Physiol. 53 (450). 1920.

Bohr'a[1] znaczenie zawartości we krwi CO_2 dla przebiegu rozkładu oksyhemoglobiny należy tłumaczyć specyficznym wpływem jonów H *(Peters*[2], *Hasselbach*[3], *Barcroft* i *Orbeli*[4]*)*. Wzrost koncentracji jonów H zwiększa zatem ilość tlenu oddawanego przez hemoglobinę tkankom, gdzie ciśnienie tlenu jest niskie.

Zmieniając stan równowagi zasadowo-kwasowej we krwi, praca forsowna, połączona z produkcją większej ilości kwaśnych metabolitów, powoduje znaczniejsze zmiany wiązania i oddawania tlenu przez hemoglobinę *(Barcroft, Peters*[5] i współprac.). Wobec przyspieszenia rozkładu HbO_2 powstaje bardziej sprzyjające podłoże do wzmożonej dyfuzji tlenu do limfy i płynu śródtkankowego, skąd — przy zwiększonej różnicy ciśnienia parcjalnego — tlen postępuje do tkanek.

Współzależność aktualnej reakcji krwi ze zjawiskami jej utleniania w płucach przedstawia niżej podany wykres (rys. 32), z którego wynika, że przy pH równem 7.4, wzrost ciśnienia tlenu od 0 do 30 mm Hg — powoduje nasycenie hemoglobiny prawie do 60%. Natomiast podniesienie prężności tlenu o 30 mm Hg — od 70 do 100 mm Hg łączy się z bardzo nieznacznym wzrostem stopnia utleniania hemoglobiny, wynoszącej zaledwie 6%, t. zn. od 92 do 98%.



Rys. 32. Krzywe dysocjacji oksyhemoglobiny przy zmianach pH krwi (Peters i Van Slyke).

---

[1] *Bohr, Ch.:* loc. cit.
[2] *Peters, R.* cyt. w/g. *Liljestrand'a:* loc. cit. (Bethe).
[3] *Hasselbalch, K. A.:* Biochem. Zeitschr. 78 (112). 1916.
[4] *Barcroft, J.:* a. *Orbeli, L.:* loc. cit.
[5] *Barcroft, J. Peters, R., Roberts, F.* a. *Ryffel, J.:* Journ. of Physiol. 45. 1913.

Opisane cechy krzywej dysocjacji HbO_2 są wyrazem procesów sprzyjających zjawiskom wiązania tlenu w płucach i oddawania go tkankom. Nawet wybitniejszy spadek ciśnienia tlenu w płucach nie powoduje znaczniejszych odchyleń w zawartości tlenu we krwi tętniczej. Natomiast w tkankach redukcja ciśnienia tlenu do 30 mm Hg łączy się z odstępowaniem przez krew tętniczą więcej niż połowy swej zawartości tlenu.

Czynnikiem dodatkowym, który w pewnej mierze współdziała w wytwarzaniu optymalnych warunków dysocjacji oksyhemoglobiny, jest wreszcie podniesienie ciepłoty ciała, towarzyszące intensywniejszej pracy fizycznej.

Aparat buforowy krwi.

Prócz regulacyjnej roli ośrodka oddechowego, w utrzymaniu stałej równowagi zasadowo-kwasowej krwi i tkanek bierze udział szereg innych mechanizmów, dzięki którym oddziaływanie krwi, nawet przy pracy bardzo intensywnej nie ulega znaczniejszym odchyleniom. Główny mechanizm regulacji aktualnej reakcji krwi najsprawniej działający, zawarty jest w samych własnościach chemizmu krwi, okazującej nadzwyczajną zdolność przeciwstawiania się wszelkim zmianom reakcji przy zwiększeniu w niej zawartości zasad lub kwasów. Doświadczenie wykazuje, że nawet in vitro krew zachowuje swą zdolność wyrównawczą, tak, że np. dodanie do surowicy krwi jakiegoś kwasu nielotnego, np. kwasu solnego, powinno o 327 razy przewyższać ilość kwasu, dodanego do czystej wody, by spowodować jedną i tę samą zmianę oddziaływania środowiska. Podobnie dodanie do krwi jakiejś zasady nie powoduje zmian w tym stopniu, jaki obserwuje się przy dodaniu tej zasady do czystej wody. Zjawisko to tłumaczy się obecnością we krwi ciał, które, wstępując w związki z dodanym kwasem tworzą substancje słabo dysocjujące, na skutek czego wyzwala się nieznaczna tylko ilość jonów H, nie powodująca wyraźniejszych zmian oddziaływania krwi. Ciała te, do których należą dwuwęglan sodu, fosforany oraz ciała proteinowe, stanowią t. zw. aparat buforowy *(Soerensen* [1]*)*, czyli zespół chemiczny, osłabiający następstwa zwiększania zawartości we krwi kwasów lub też zasad.

Wiadomo, iż działanie chemiczne jak również fizjologiczne elektrolitów, kwasów, zasad lub też soli zależne jest nie od cząsteczek rozpuszczonych w roztworze, lecz od uwolnionych przy dysocjacji tych ostatnich jonów. HCl dysocjuje na $H^{\cdot}$ i Cl', KOH — na $K^{\cdot}$ i OH'. Związki odszczepiające w wodnych roztworach jony wodorowe stanowią grupę kwasów, zasady natomiast uwalniają przy dysocjacji elektrolitycznej jony wodorotlenowe. Podczas neutralizacji jony H i OH wzajemnie się wiążą przyczem znikają własności kwasu i zasady. Ponieważ efektywnym radykałem kwasu jest jon wodorowy, przeto o mocy kwasu decydować powinna ilość odszczepionych jonów $H^{\cdot}$. Pomiędzy mocą kwasów lub też zasad a stopniem dysocjacji tych związków istnieje ścisła współzależność.

---

[1] *Soerensen, S.:* Biochem. Zschr. 21 (301) 1909, 22 (352) 1909.

Stopień dysocjacji kwasu lub zasady, t. zn. ułamek cząsteczki gramowej, który uległ rozpadowi na jony, może być zatem miarą aktywności tych substancji. Wobec zależności zmian stopnia dysocjacji od stężenia roztworu — do określeń mocy kwasów lub zasad przyjęto t. zw. stałą (konstantę) dysocjacji kwasu względnie zasady *(Ostwald*[1]*)*.

Woda, która jest złym elektrolitem, również w pewnym stopniu zdysocjowana jest na jony H o ładunku dodatnim i OH o ładunku ujemnym: $H_2O \rightleftarrows \overset{+}{H}\cdot + \overset{-}{OH}'$. Według prawa działania mas pomiędzy cząsteczkami wody a jonami H· i OH′ zachodzi zależność: $\frac{[H\cdot] \times [OH']}{[H_2O]} = K$. Wobec bardzo nieznacznego stopnia dysocjacji, koncentracja niezdysocjowanych cząsteczek wody jest przy danej ciepłocie wartością stałą. Ponieważ ułamek przedstawia stałą równowagę reakcji, przeto i iloczyn koncentracyj jonów przedstawia konstantę: $[H\cdot] \times [OH'] = K$.

Czysta woda nie zawierająca kwasów czy też zasad dysocjuje na jednakową ilość H i OH jonów. Dodanie zasady lub kwasu zwiększa stężenie OH′ lub zmienia stosunek tych jonów do jonów H·, wprowadzając nowy stan równowagi jonów. W każdym kwaśnym roztworze znajduje się określona ilość jonów OH, tak samo jak każdy roztwór zasadowy zawiera jony H·. Koncentracje H· i OH′ jonów są zatem wartościami skojarzonemi. Wzrost koncentracji jonów H· łączy się ze spadkiem koncentracji OH-jonów i vice versa. Dlatego też do określenia odczynu każdego roztworu wystarcza przy znanej konstancie dysocjacji oznaczyć stężenie H· lub też OH′ jonów. W roztworze obojętnym przy równem stężeniu obu rodzajów jonów, każdy z nich posiada przy 22°C. stężenie równe 1×10^{-7}, co odpowiada stężeniu jonów 0.0000001 grama H w litrze wody. Wobec niezmienności iloczynu stężeń jonów H i OH, wynoszącego w każdym roztworze 1×10^{-14}, do określenia istotnego odczynu roztworu przyjęto oznaczać stężenie jonów H·. O ile stężenie to (cH) jest większe aniżeli 1×10^{-7}, wówczas roztwór jest kwaśny, przy obniżeniu wskazanego stopnia stężenia jonów H odczyn staje się zasadowym. Celem uproszczenia oznaczeń cH przyjęto wyrażać stężenie jonów wodorowych zapomocą jego logarytmu ujemnego czyli pH *(Soerensen*[2]*)*. Pomiędzy cH czyli stężeniem jonów H· a pH, czyli wykładnikiem wodorowym istnieje więc następująca zależność:

$$pH = -\log [H\cdot]$$
$$[H\cdot] = 10^{-pH}$$

pH środowiska obojętnego w ciepłocie ciała (38°C) równa się 6.74; pH krwi tętniczej — około 7.35, jest to zatem odczyn słabo alkaliczny. Zależność pomiędzy [H·] i [OH′] w stanach równowagi zasadowo-kwasowej, acidozy i alkalozy można przedstawić następująco:

acidoza:	$[H\cdot] > 1 \times 10^{-7} < [OH']$; $pH > 7 > pOH$
odczyn obojętny:	$[H\cdot] = 1 \times 10^{-7} = [OH']$; $pH = 7 = pOH$
alkaloza:	$[H\cdot] < 1 \times 10^{-7} > [OH']$; $pH < 7 < pOH$

Wyżej omówione zjawiska dysocjacji wody okazują cechy dysocjacji elektrolitów amfoterycznych czyli amfolitów. Związki te, do których należy również szereg ciał organicznych, jak aminokwasy, peptydy, białka oraz ciała purynowe, — odznaczają się zdolnością odszczepiania zarówno H·, jak i OH′ jonów oraz mogą tworzyć sole z kwasami lub zasadami. Stopień dysocjacji kwaśnej i zasadowej uzależniony jest przytem od wielkości odnośnych stałych dysocjacji. Zależnie od przewagi wielkości jednej lub drugiej konstanty przeważają cechy kwasowości lub zasadowości, przy zadziałaniu mocniejszego kwasu dysocjacja jonów H· ulega redukcji, amfolit okazuje przeważające cechy zasady, która tworzy z dodanym kwasem sól. W podobny sposób może zachodzić wiązanie zasady.

Różny stopień dysocjacyj kwasów i zasad decyduje nietylko o różnicach mocy tych substancyj, — określa nadto inną cechę ich aktywności, a mianowi-

---

[1] *Ostwald, W.* cyt. w/g. *Höber, R.:* Physikalische Chemie. 1926.

[2] *Soerensen, S.* loc. cit.

cie wielkość kwasowości lub zasadowości potencjalnej. Owa rezerwa kwasowości czyli ilość cząsteczek kwasu niezdysocjowanych, pozwala na uzupełnienie jonów H· wolnych wiązanych przy neutralizacji przez zasadę. W kwasach silnych prawie zupełnie zdysocjowanych na jony rezerwa jonów H· jest bardzo mała, wtenczas gdy kwasy słabe, uwalniając w miarę dodawania zasady coraz to nowe H jony rozpadających się cząsteczek, okazują większą odporność na zmianę swego odczynu podczas neutralizacji. Analogiczną zdolność stabilizacji aktualnego odczynu roztworu kosztem zasadowości rezerwowej, czyli t. zw. zdolność buforową okazują również i zasady. Zdolność buforowania kwasu lub zasady jest tem większa im więcej jonów H· lub OH′ może być użyte do stabilizacji odczynu przy danej zmianie pH. Jak stwierdzono — szczególnie dużą pojemnością buforową odznaczają się mieszaniny słabych kwasów z solami, jakie utworzone są przez ten kwas z mocną zasadą. Podobną cechę posiadają roztwory z mieszaniną słabej zasady i jej solą z mocnym kwasem.

Istotne oddziaływanie roztworu, zawierającego słaby kwas z jego solą, określa się stosunkiem kwasu niezdysocjowanego do anjonu:

$$[\mathrm{H}\cdot] = \mathrm{K}\,\frac{[\mathrm{kwas}]}{[\mathrm{sól}]}$$

Stężenie jonów H· roztworu buforowego proporcjonalne jest do stężenia kwasu niezdysocjowanego oraz odwrotnie proporcjonalne do stężenia soli tego kwasu. Analogiczne cechy okazują roztwory słabej zasady z jej zdysocjowaną solą.

Buforowy mechanizm krwi przypisywano początkowo wyłącznie ciałom białkowym krwi, jednak *Henderson*[1] wykazał, że zdolność białka reagowania ze słabemi kwasami lub zasadami jest bardzo niewielka w warunkach stężenia jonów H˙ — możliwego do podtrzymania życia. Bardziej efektywnym pod tym względem związkiem jest natomiast dwuwęglan sodu, stanowiący właściwe źródło we krwi jonów potencjalnych zasadowych, t. zn. zdolnych do zastąpienia wolnych jonów zasadowych, związanych przez kwasy.

Związek ten, reagując z dodanym do krwi kwasem nielotnym, uwalnia kwas węglowy oraz tworzy sól obojętną. Wobec słabej dysocjacji H_2CO_3 dodanie nawet znacznych ilości mocnego kwasu, a więc dużej ilości wolnych jonów H˙ powoduje, w rezultacie, tylko nieznaczne zmiany (istotnego) odczynu krwi. Dwuwęglany krwi są zatem głównem źródłem zasad, przeznaczonych do neutralizacji kwasów, produkowanych w warunkach nadczynności ustroju w ilościach znaczniejszych. Zasób zasadowy w formie dwuwęglanów utrzymuje normalnie 95% całej zawartości CO_2 we krwi *(Henderson*[2], *Bohr*[3]*)*. Przy normalnem ciśnieniu CO_2 dwuwęglany krwi są tą nadwyżką zasad ustroju, jaka pozostaje do dyspozycji po pokryciu wszystkich bieżących potrzeb zobojętniania kwasów. Współdziałanie pozostałych związków buforowych — fosforanów, ciał białkowych i inn. skierowane jest ku utrzymaniu normalnego poziomu owego zasobu alkalicznego krwi *(Van Slyke*[4]*)*, o jakim decyduje $BHCO_3$ we krwi przy oznaczeniu symbolem B katjonu

---

[1] *Henderson, L. J.:* Amer. Journ. of Physiol. 21 (427). 1908.
[2] *Henderson, L.:* Ergebn. Physiol. 8 (254). 1909.
[3] *Bohr, C.:* Skand. Arch. Physiol. 17 (104), 1905.
[4] *Van-Slyke, D.:* Physiol. Rev. 1 (141). 1921.

jednowartościowego. Z rezerwy alkalicznej krwi przy każdorazowem naruszaniu równowagi zasadowo-kwasowej uzupełnia się stężenie wolnych oraz aktywnych jonów $OH^{\cdot}$. W myśl powyższego aktualne oddziaływanie krwi, określane równowagą kwasowo-zasadową, jako wyraz skojarzonej gry substancyj buforowych wyraża się równaniem (*Henderson*[1] - *Hasselbalch*[2]): $c_H = K \frac{[H_2CO_3]}{[B^{\cdot}.HCO'_3]}$, w którym licznik wykazuje stężenie H_2CO_3 — jonów i proporcjonalny jest do prężności dwutlenku węgla we krwi, mianownik natomiast stanowi ilość dwuwęglanu sodu w osoczu. B jest katjonem jednowartościowym (Na lub K). K — stała wartość dysocjacji H_2CO_3.

W warunkach fizjologicznych rezerwa alkaliczna, wynosząca przeciętnie 50 cm^3 dwutlenku węgla w 100 cm^3 krwi tętniczej i 57—60 cm^3 — we krwi żylnej (jako dwutlenek węgla związany z zasadami oraz w postaci H_2CO_3), regulowana jest ciśnieniem dwutlenku węgla w pęcherzykach płucnych. Ciśnienie to, proporcjonalne do prężności dwutlenku węgla we krwi, utrzymywane jest w warunkach normalnych przez oddychanie na poziomie stałym. Decydujący o reakcji krwi stosunek $\frac{[H_2CO_3]}{[NaHCO_3]}$ pozostaje bez zmian i wynosi około $^3/_{60}$ lub $^1/_{20}$.

Kwasy mocniejsze, jak np. silnie dysocjujący kwas mlekowy, przy dostaniu się do krwi reagują z $NaHCO_3$, wyrugowywując przytem słabszy kwas węglowy:

$$CH_3.CHOH.COOH + NaHCO_3 \rightarrow CH_3.CHOH.COONa + H_2CO_3$$

Kw. mlekowy — Dwuwęglan sodu — Mleczan sodu — Kw. węglowy

Następuje chwilowe zwiększenie licznika równania *Henderson'a* na skutek względnego wzrostu prężności dwutlenku węgla we krwi. Stosunek $\frac{3\,H_2CO_3}{60\,NaHCO_3}$, określający równowagę zasadowo-kwasową tkanek, przy zahamowaniu utleniania 5 wytworzonych cząsteczek kwasu mlekowego zmieni się w: $\frac{8\,H_2CO_3}{55\,NaHCO_3 + 5\,NaL}$. Bowiem 5 cząsteczek kwasu mlek. (współczynnik oksyd. kw. mlek. *Hill'a*), wstępując w związek z dwuwęglanami oraz powodując powstawanie 5 cząsteczek H_2CO_3, zwiększa jednocześnie wyrażone przez licznik stężenie CO_2 we krwi. Oddziaływanie krwi i tkanek wyraża się w tych warunkach stosunkiem $^8/_{55}$, który jest wyższy od normalnego $^3/_{60}$. Wzrost stężenia jonów H, którego wyrazem są zmiany powyższe, powoduje pobudzenie ośrodka oddechowego w rezultacie czego następuje wyrównawcze wydalenie nadmiaru wolnego kwasu węglowego

---

1 *Henderson, L.:* Journ. of biol. chem. 7 (29). 1909.
2 *Hasselbalch, K.:* Biochem. Zschr. 78 (112). 1916.

ze krwi. Następstwem wzmożenia wentylacji płuc, jako jednego z czynników utrzymywania niezmienności stężenia jonów H˙, jest obniżenie ciśnienia CO_2 w pęcherzykach płucnych. Opisany mechanizm przywraca tą drogą normalny stosunek $\frac{\text{prężność } CO_2}{\text{zawartość } HCO'_3}$ a więc skłonność do zakwaszenia (pochodzenia niegazowego) zostaje podczas pracy mięśniowej skutecznie wyrównywana. Utlenianie oraz resynteza kwasu mlekowego uwalnia związane z nim zasady, które znów przemieniają się w związki dwuwęglanowe, uzupełniając rozporządzalne rezerwy buforowe.

W utrzymywaniu niezmienności oddziaływania krwi buforowe działanie dwuwęglanów uzupełniają również i związki fosforowe krwi, zawarte w niej pod postacią fosforanów kwaśnych BH_2PO_4 oraz fosforanów zasadowych B_2HPO_4. Rola tych związków, zawartych w bardzo nieznacznej ilości w osoczu (9.5 mg. na 100 cm^3 osocza), ustępuje efektywności działania fosforanów znajdujących się w większej ilości w erytrocytach i tkankach. Przy zwiększeniu zawartości we krwi kwasów, te ostatnie reagują z B_2HPO_4 (stanowiącą sól zasadową słabego kwasu H_3PO_4) w rezultacie czego wzrasta odpowiednio BH_2PO_4. Powstający nadmiar kwaśnych fosforanów wydala się z ustroju przez nerki.

Biorące udział w stabilizacji oddziaływania krwi ciała białkowe — w mniejszym stopniu białka osocza, głównie hemoglobina — posiadające jako związki amfoteryczne zdolność uwalniania zarówno jonów H˙, jak i jonów OH', w warunkach normalnego odczynu krwi (słabo zasadowego) ujawniają cechy słabych kwasów. Jako ciało amfoteryczne, wiążące część zasadową białkową z częścią barwikową kwaśną, hemoglobina, reagując z tlenem, wzmaga swoją kwasowość, wiążąc zasady uwalniane z kwasu węglowego na oksyhemoglobiniany. Oksyhemoglobina jest zatem, w porównaniu z hemoglobiną zredukowaną — kwasem mocniejszym, t. zn. zdolnym w znaczniejszym stopniu współzawodniczyć z dwutlenkiem węgla w akcji wiązania zasad. Według *Van Slyke'a* od 80% do 95% zasad potrzebnych do przenoszenia nadmiaru CO_2 we krwi żylnej w porównaniu z krwią tętniczą, dostarcza hemoglobina. W płucach oksyhemoglobina reaguje z zasadami, uwalniając H_2CO_3.

Ciałka czerwone zawierają z pośród katjonów K˙ i H˙, zaś z anjonów — anjon dwuwęglanowy, fosforanowy pierwszo- i drugorzędowy, anjony chlorowe i wodorotlenowe, hemoglobinowe i oksyhemoglobinowe. Utlenianie krwi w płucach odbywa się z następującym przebiegiem reakcyj, uwalniających H_2CO_3, który dyfunduje z krwinek do osocza:

H.Hb Hemoglob. zredukow.	+	O_2 tlen	→	$H.HbO_2$ oksyhemoglobina		
$H.HbO_2$ Oksyhemoglobina	+	HCO'_3 anjon dwuwęglan.	→	HbO'_2 anjon oksyhemoglob.	+	H_2CO_3 kwas węgl.
$H.HbO_2$ Oksyhemoglobina	+	HPO''_4 anjon fosforanowy drugorzędowy	→	HbO'_2 anjon oksyhemoglob.	+	$H_2PO'_4$ anjon fosforanowy drugorzędowy

Przy obniżeniu stopnia utleniania krwi żylnej w płucach podczas oddychania rozrzedzonem powietrzem na wysokościach, ilość dwutlenku węgla zatrzymywanego we krwi wzrasta.

Odwrotny proces ma miejsce w tkankach, gdzie w miarę dysocjacji oksyhemoglobiny i odszczepienia tlenu, hemoglobina zredukowana, jako kwas słabszy, uwalnia zasady, które łączą się z postępującym z tkanek dwutlenkiem węgla:

HbO'_2	—	O_2	→	Hb'
Anjon oksyhemoglob.		tlen		Anjon hemoglob.
Hb'	+	H·	→	H.Hb
Anjon hemoglobinowy		jon wodorowy		Hemoglobina zreduk.

Przejście dwutlenku węgla z tkanek do krwi ułatwia zatem proces dysocjacji oksyhemoglobiny.

Wynikające z opisanych procesów działanie hemoglobiny polega na wyrównywaniu tych różnic reakcji krwi tętniczej i żylnej, jakie wywoływane są przez różne zawartości w tych rodzajach krwi dwutlenku węgla.

Podczas forsownej pracy, kiedy kwas mlekowy przedostaje się do krwi oraz iloraz oddechowy podnosi się znacznie ponad jedność (nawet do 2), znaczenie buforowej roli hemoglobiny jest szczególnie doniosłe. Przy wyłączeniu działania hemoglobiny zmiany pH krwi mogłyby dojść do 1.0, t. zn. przekroczyć granicę zmian tolerancyjnych, kładąc kres dalszej pracy.

Wydolność całego zespołu opisanych czynników buforowych jest w warunkach normalnych bardzo znaczna. Obliczono, że zagrażającą życiu intoksykację kwasową (acidosis) poprzedza w ustroju dorosłym reakcja ciał buforowych z kwasami odpowiadającemi ilościowo 1000 $cm.^3$ 1 N kwasu. Działanie buforów krwi odbywa się w bezpośrednim związku z funkcją oddychania, sprawującego przytem rolę podwójną: przy zjawieniu się kwasów wzmożenie oddychania powoduje wydalanie H_2CO_3, wytwarzanego przy rozkładzie dwuwęglanów. Z drugiej strony przy hyperwentylacji wydalona jest część H_2CO_3 istniejącego we krwi przed zjawieniem się kwasów. Do chwili obniżenia pH do 7.0, czynność oddychania pozwala uruchomić do neutralizacji kwasów około 80% rozporządzalnych zasad krwi i płynów ustojowych (*Van Slyke*[1]). Znaczenie funkcji buforowej w zespole mechanizmów pracy uwidacznia się szczególnie jaskrawo w wytworzeniu zmian adaptacyjnych, towarzyszących stanom wytrenowania. Systematyczny trening fizyczny prowadzi do zwiększania własności buforowych krwi. Wzrost rezerwy alkalicznej oraz ciśnienia CO_2 pęcherzykowego u ludzi wytrenowanych w porównaniu z niewytrenowanymi opisali *Herxheimer*[2], *Ewig*[3],

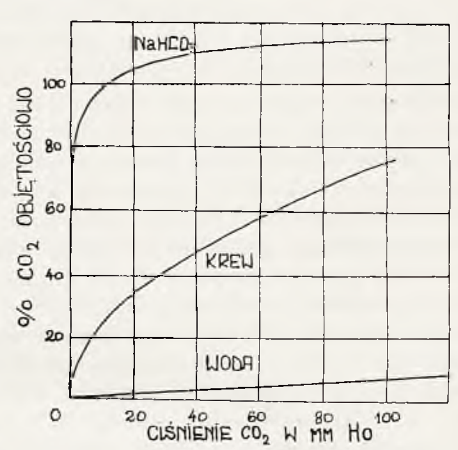
---

1 *Van Slyke:* Quantit. Clinic. Chemistry. 1931.
2 *Herxheimer, H.:* Ztschr. klin. Med. 103 (722). 1926.
3 *Ewig, W.:* Münch. med. Wschr. 46 (1955). 1925.

Schenk[1], *Waliński*[2] i inn., u zwierząt *Davis* i *Brewer*[3] oraz *Rice* i *Steinhaus*[4]. U sportowców *Waliński* stwierdził zwiększenie rezerwy alkalicznej dochodzące przeciętnie do 20%, u żołnierzy już po miesiącu ćwiczeń do 10%. Zjawisko to stanowi według *Ewig'a*[5], jak również *Schenk'a* swoisty objaw nadkompensacji rozwijającej się pod wpływem występujących przy pracy stanów skłonności do zakwaszenia.

Przenoszenie dwutlenku węgla we krwi.

Zarówno funkcja hemoglobiny wiązania i oddawania tlenu, jak i buforowe własności tego związku łączą się ściśle z odnośnemi zmianami zawartości we krwi dwutlenku węgla. Ilość CO_2, postacie w jakich ten gaz znajduje się we krwi oraz sposób wiązania i przenoszenia go z tkanek do płuc uzależnione są nietylko od odnośnej roli osocza z jego rozporządzalnemi związkami kwaśnemi i zasadowemi, lecz i od czerwonych ciałek krwi, pomiędzy zawartością których a osoczem zachodzą ciągłe procesy dyfuzji i wymiany jonów. Zjawiska te decydują o charakterze krzywej dysocjacji CO_2, która przedstawia zawartość tego gazu we krwi w zależności od jego ciśnienia parcjalnego.



Rys. 33. Krzywe wiązania CO_2 we krwi i w wodnym roztworze węglanu sodu. (Evans).

Przy założeniu, że CO_2, poza nieznaczną ilością rozpuszczonego fizycznie, znajduje się we krwi w postaci związku z zasadą, tworząc dwuwęglany, porównanie krzywych wiązania CO_2 we krwi i wodnym roztworze węglanu (Rys. 33), zawierającego ten sam od-

---

[1] *Schenk, P.:* Münch. med. Wschr. 48 (2050). 1925.
[2] *Waliński* cyt. w/g *Ewig'a.*
[3] *Davis, J.* a. *Brewer, N.:* Amer. Journ. Physiol. 113 (586). 1935.
[4] *Rice, H.* a. *Steinhaus A.:* Amer. Journ. Physiol. 96 (529). 1931.
[5] *Ewig, W.:* Zschr. exp. Med. 61 (590). 1928.

setek $NaHCO_3$ wykazuje przy zmianach ciśnienia CO_2 zasadnicze różnice. W próżni czyli przy ciśnieniu parcjalnem równem zeru cały CO_2 zostaje wydalony z krwi wtenczas gdy w wodnym roztworze $NaHCO_3$ pozostaje jeszcze w tych warunkach 50% CO_2:

$$2\ NaHCO_3 \rightleftharpoons Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O.$$

Druga połowa zawartości CO_2 pozostaje nadal związana w postaci Na_2CO_3 i może być wyrugowana dopiero przy dodaniu do roztworu kwasu.

Porównanie dysocjacji krwi i osocza w próżni wykazuje, że krew całkowita zawiera przy niskiem ciśnieniu CO_2 mniej tego gazu i więcej przy podniesieniu ciśnienia CO_2 aniżeli osocze. Wykazane różnice dysocjacji CO_2 krwi i osocza przy zmianach ciśnienia parcjalnego CO_2 zależne są od udziału w reakcji substancyj białkowych (białka Hb) zawartych w erytrocytach. Substancje te dostarczają zasady do wiązania CO_2 przy podniesieniu jego ciśnienia parcjalnego, lub też uwalniają kwasy, wypierając ten gaz przy obniżeniu jego ciśnienia. Wzrost zawartości H_2CO_3 we krwi powoduje wraz z uwalnianiem zasad z białek (Hb i osocza) utworzenie większej ilości dwuwęglanów i vice versa. Połączenie H_2CO_3 z zasadami zwalnianemi z białek odbywa się przytem nietylko bezpośrednio w erytrocytach lecz w większej swej części w osoczu.

Jako cząsteczki, odszczepiające jony $H^{\cdot}$, w ciałkach czerwonych znajdują się H_2PO_4 i hemoglobina. Anjony zawarte w ciałkach mogą wstępować w związki z jonami $H^{\cdot}$, pochodzącemi ze wspomnianych cząsteczek.

Wydalanie i wiązanie CO_2 we krwi wiąże się zatem z wymianą jonową pomiędzy krwinkami a osoczem, która przychodzi do skutku dzięki swoistym cechom półprzepuszczalności otoczek krwinek. Otoczka ta jest łatwo przenikliwa dla ujemnie naładowanych anjonów (np. Cl', HCO'_3) oraz jest nieprzepuszczalna dla dodatnio naładowanych katjonów (np. $Na^{\cdot}$. $K^{\cdot}$). Proces wymiany jonowej pomiędzy krwinkami a osoczem, zdążający do wyrównania sum ładunków katjonów i anjonów w obu układach (w krwinkach i osoczu) odbywa się w ten sposób, że przechodzenie jakiegoś anjonu z krwinek do osocza i odwrotnie łączy się z przedostawaniem się ekwiwalentnej liczby anjonów w przeciwnym kierunku. Wędrówka jonów powodowana zmianami stosunku stężenia jonów po obu stronach otoczek erytrocytów przywraca tą równowagę jonów, która w myśl prawa *Donnan'a* [1] powinna się wyrażać w stałym stosunku:

$$H^{\cdot}_{\text{krwinek}} \,.\, Cl'_{\text{krwinek}} = H^{\cdot}_{\text{osocza}} \,.\, Cl'_{\text{osocza}},$$

$$H^{\cdot}_{\text{krwinek}} \,.\, HCO'_{3\,\text{krwinek}} = H^{\cdot}_{\text{osocza}} \,.\, HCO'_{3\,\text{osocza}},$$

$$\frac{H^{\cdot}\ \text{krwinek}}{H^{\cdot}\ \text{osocza}} = \frac{Cl'\ \text{osocza}}{Cl'\ \text{krwinek}} = \frac{HCO'_3\ \text{osocza}}{HCO'_3\ \text{krwinek}} = K$$

---

[1] *Donnan, F.* cyt. w/g *Höber, R.* loc. cit.

Przy wzroście parcjalnego ciśnienia CO_2 w pęcherzykach płucnych występują zmiany w rozmieszczeniu anjonów pomiędzy krwinkami a osoczem. Przytem z krwinek do osocza przechodzą anjony dwuwęglanowe, zaś na ich miejsce z osocza do krwinek przechodzą anjony chlorowe. Reakcja, towarzysząca przedostawaniu się CO_2 do osocza, powoduje tworzenie się kwasu węglowego:

$$CO_2 + H_2O = H_2CO_3$$

który skolei rozpada się na $H^{\cdot}$ i HCO'_3.

Całokształt zjawisk, odbywających się we krwi na odcinku tkanek przy zwiększeniu prężności CO_2, składa się z szeregu powiązanych ze sobą reakcyj, z których dominująca rola przypada na następującą reakcję w krwinkach:

CO_2	+	H_2O	→	H_2CO_3			
Dwutlenek węgla		Woda		kw. węglowy			
H_2CO_3	→	$H^{\cdot}$	+	HCO'_3			
kw. węglowy		jon wodorowy		jon dwuwęglanowy			
HbO_2	+	$H^{\cdot}$	→	HbO_2H	→	$H.Hb$	+ O_2
anjon oksyhemogl.		jon wodorowy		oksyhemogl. obojętna		hemoglobina zredukowana	tlen

Reakcja powyższa, ułatwiająca odszczepianie tlenu z oksyhemoglobiny, powoduje jednocześnie w krwinkach nadmiar jonów HCO'_3, równoważonych przez jony $K^{\cdot}$. Zakłócona równowaga stosunku $\frac{HCO'_3 \text{ krwinek}}{HCO'_3 \text{ osocza}}$ zostaje przywracana dzięki dyfuzji nadmiaru jonów HCO'_3 krwinek do osocza, z równoległem przechodzeniem do krwinek równoważnej liczby jonów chlorowych. Przechodzący z krwinek HCO'_3 tworzy z Na', odszczepianym od $NaCl$ osocza — $NaHCO_3$, zaś jony chlorowe, przedostające się do krwinek, wiążą się z jonami $K^{\cdot}$ w KCL.

W powyższem przedstawieniu mechanizmu wiązania CO_2 we krwi reakcja w osoczu przebiega jak następuje:

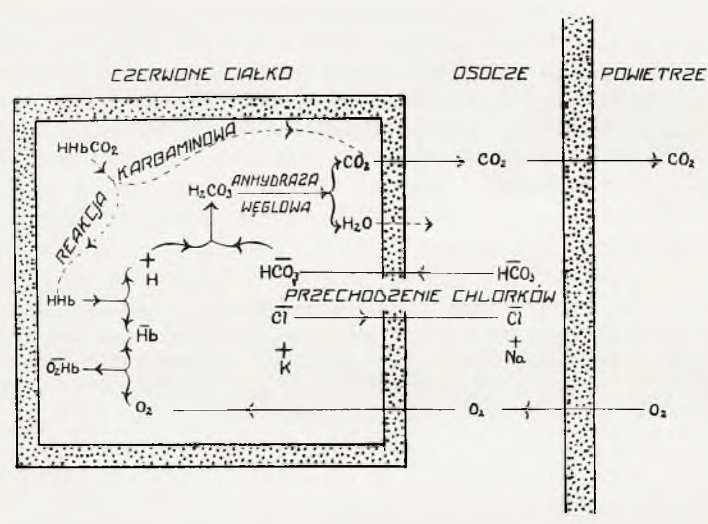
CO_2	+	H_2O	→	H_2CO_3
dwutlenek węgla		woda		kw. węglowy
H_2CO_3	→	$H^{\cdot}$	+	HCO'_3
kw. węglowy		jon wodorowy		jon dwuwęglanowy
$H^{\cdot}$	+	HPO''_4	→	$H_2PO'_4$
jon wodorowy		anjon fosforanowy drugorzędowy		anjon fosforanowy pierwszorzędowy
$H^{\cdot}$	+	Pr	→	$H.Pr$
jon wodorowy		anjon białkowy		obojętna cząsteczka białka

Bezpośredniem następstwem zwiększonego postępowania CO_2 do krwi jest zatem zmniejszenie zawartości chlorków w osoczu z jednoczesnem zwiększeniem ich w krwinkach, wzrost zawartości dwuwęglanów w osoczu i krwinkach, jak również obniżenie powinowactwa Hb do O_2.

Przedstawiona wymiana jonowa pomiędzy osoczem a krwinkami wzmaga zdolność krwi wiązania i przenoszenia CO_2. Przez przyłączenie do anjonu fosforanowego i białkowego jonów wodorowych

współdziała jednocześnie w zabezpieczeniu minimalnych wahań pH krwi.

Przy wydalaniu CO_2 z krwi w płucach (rys. 34) występują zmiany odwrotne — anjony dwuwęglanowe przechodzą z osocza do krwinek, gdzie łącząc się z jonami wodorowemi odszczepionemi od oksyhemoglobiny (jako kwasu 70-krotnie silniejszego od hemoglobiny zredukowanej), tworzą cząsteczki H_2CO_3, które skolei rozpadają się na H_2O i CO_2.



Rys. 34. Schemat głównych procesów wymiany jonów we krwi podczas wydalania CO_2 (Roughton).

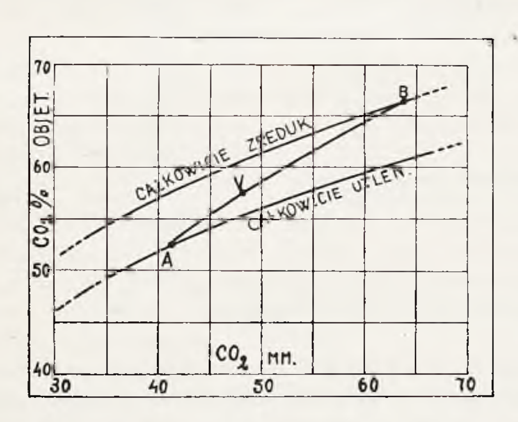
Wyżej przytoczonym schematem nie wyczerpują się wszystkie zjawiska wiązania i przenoszenia CO_2 we krwi. Różnice szybkości przebiegu poszczególnych reakcyj omawianego procesu nasunęły przypuszczenie istnienia innych postaci wiązania CO_2 we krwi prócz dwuwęglanów. Według *A.* i *M. Krogh'ów*[1], osiągnięcie całkowitej równowagi zawartości CO_2 pomiędzy krwią przepływającą przez płuca a powietrzem pęcherzykowem nie przekracza jednej sekundy. O ile dyfuzja gazów, a szczególnie wymiana jonowa odbywają się z dużą szybkością, o tyle proces rozpadu H_2CO_3 na H_2O i CO_2 jest powolniejszym, nieodpowiadającym istotnej szybkości powstawania CO_2. Stąd też wniosek, że albo reakcja dehydracji H_2CO_3 we krwi przyspiesza się katalitycznie, albo też CO_2 może się wiązać bezpośrednio białkami krwi *(Henriques*[2]*)*.

Słuszność przypuszczenia istnienia katalitycznego mechanizmu odwracalnej reakcji $H_2CO_3 \rightleftarrows H_2O + CO_2$ *(Hawkins* i *Van*

[1] *A.* i *M. Krogh* — loc. cit.
[2] *Henriques, O.:* Biochem. Ztschr. 200 (1) 1928.

Slyke[1]) została potwierdzona przez *Meldrum* i *Roughton'a*[2] przez wyizolowanie ze krwi enzymu — anhydrazy węglowej (carbonic anhydrase), przyśpieszającej wszelkie reakcje złożone, połączone z rozpadem lub też tworzeniem się H_2CO_3. Działaniu anhydrazy węglowej zawdzięcza przyśpieszenie dehydracji H_2CO_3 uwalnianego z dwuwęglanów przy wydalaniu znaczniejszej części CO_2 w płucach.

Uzupełnienie teorji węglanowej wykryciem mechanizmu katalitycznego nie rozwiązywało jednak zagadnienia istoty procesu przenoszenia CO_2 we krwi. Dopiero wychodząc z badań *Henriques'a*, udało się stwierdzić, że znaczna część CO_2 (20%—40%) znajduje się w krwi nie w postaci H_2CO_3, lecz tworzy karbhemoglobinę, czyli łatwo dysocjujący przy spadku parcjalnego ciśnienia CO_2, związek CO_2 z hemoglobiną. Rozbudowane przez *Margaria*[3] oraz *Meldrum* i *Roughton'a*[4] wyniki *Henriques'a* udowodniły zatem dawniejsze poglądy *Setschenow'a*[5], *Bohr'a*[6], *Bayliss'a*[7] i inn. o możliwości wiązania CO_2 przez białka krwi. Związki powyższe należą przypuszczalnie do typu karbaminjanów.



Rys. 35. Krzywe wiązania CO_2 we krwi ludzkiej całkowicie zredukowanej oraz utlenionej. AVB normalny przebieg krzywej wiązania CO_2. W punkcie A całkowicie utleniona krew przy 41 mm Hg CO_2 zawiera 52.5% objęt. CO_2. W punkcie B całkowicie zredukowana krew zawiera przy 64 mm Hg ciśnienia CO_2— 66.5% CO_2. Normalnie, po przejściu przez kapilary, stopień redukcji krwi nie dochodząc do punktu B, zatrzymuje się w punkcie V. (Evans).

Z własności hemoglobiny zwiększania swych właściwości kwaśnych w stanie utleniania wynika, że przy stałem ciśnieniu CO_2 krew utleniona posiada przeciętnie o $^1/_8$ mniejszą pojemność dla CO_2 w porównaniu z krwią zredukowaną. Tą drogą redukcja krwi tętniczej przyśpiesza wiązanie CO_2 w tkankach, wtenczas gdy utlenianie krwi żylnej w płucach ułatwia oddawanie tego gazu atmosferze pęcherzyków płucnych (rys. 35). Wydalanie dwutlenku węgla, od-

---

1 *Hawkins, J.* a. *Van Slyke, D.:* Journ. biol. Chem. 87 (265). 1930.
2 *Meldrum, N.* a. *Roughton, F.:* Journ. of Physiol. 80. 1933.
3 *Margaria, R.:* Journ. of Physiol. 73 (311). 1931.
4 *Roughton, F.:* Physiol. Rev. 15 (241). 1935.
5 *Setschenow, J.* cyt. w/g *Liljestrand* w Hndb. d. norm u. pathol. Physiol. 6/I (490). 1928.
6 *Bohr, Ch.:* loc. cit.
7 *Bayliss, W.:* Principles of general Physiologie 1924.

bywa się przypuszczalnie na wyłącznej drodze dyfuzji. Przy tym samym poziomie ciśnienia dyfuzja dwutlenku węgla w płucach przebiega z szybkością 20—30 razy większą w porównaniu z dyfuzją tlenu. Dlatego też krew tętnicza, opuszczająca płuca, posiada prawie zupełną równowagę zawartości CO_2 ze składem powietrza pęcherzykowego. Prężność ciśnienia cząsteczkowego CO_2 w pęcherzykach, wynosząca w spoczynku od 34 do 40 mmHg, ulega przy pracy umiarkowanej nieznacznym wahaniom. Pewien spadek, jako zjawisko przemijające, występuje w następstwie hyperwentylacji na samym początku pracy. Dalsze zachowanie się zawartości CO_2 we krwi uzależnione jest od intensywności pracy. Różnica prężności CO_2 we krwi żylnej i tętniczej, wzmagając się podczas pracy, przyśpiesza dyfuzję tego gazu w pęcherzykach płucnych oraz powoduje w większości przypadków spadek ciśnienia CO_2 w powietrzu pęcherzykowem. Zmiany zawartości krwi żylnej i tętniczej mogą stanowić przytem następstwo zarówno zwiększenia CO_2 we krwi żylnej, jak i zmniejszenie zawartości CO_2 we krwi tętniczej. Prężność CO_2 we krwi żylnej, wynosząca we krwi żylnej dopływającej do płuc 43,3—49,5 mmHg w spoczynku, wzrasta podczas pracy w doświadczeniach *Dill'a* [1] do 62,6—75,1 mmHg. Wzrost prężności CO_2 we krwi żylnej, który może występować nawet przy pracy lekkiej wzmaga się z intensywnością pracy (*Bothby* i *Sandiford* [2]), *Fridericia* [3]). W doświadczeniach *Fridericia* wzrost zawartości CO_2 z 46,3 do 52% we krwi żylnej wytwarza się przy pracy umiarkowanej (200 kg/min na cykloergometrze) przy jednoczesnem spadku zawartości O_2 z 44,5 do 35,2%. Wskazuje to, że równolegle do obniżenia krzywej dysocjacji oksyhemoglobiny i wzmożenia krążenia w mięśniach czynnych podnosi się podczas pracy stopień wyzyskania zawartego we krwi tlenu.

Zmiany odczynu aktualnego krwi podczas pracy.

Przebieg przemiany oddechowej podczas pracy mięśniowej, stanowiący wyraz całokształtu procesów adaptacyjnych i wyrównawczych, wskazuje, że zmiany oddziaływania krwi w czasie pracy i wypoczynku mają charakter kilkufazowości.

Tonizacja ośrodka oddechowego, uwidaczniająca się w zjawiskach hyperpnoe początkowego okresu pracy, bynajmniej nie może być wytłumaczona zachwianiem izojonji krwi w kierunku zwiększenia koncentracji jonów $H^{\cdot}$. Szybkość wzrostu wentylacji płuc wskazuje na występowanie z rozpoczęciem pracy przeważających wpływów regulacji odruchowej. Powyższy mechanizm stanowi wyraz pobudzenia ośrodków oddechowych na drodze współdziałania odru-

---

1 *Dill, D.* i współpr.: Journ. of biol. Chem. 74 (313). 1927.
2 *Boothby, W.* a. *Sandiford:* Amer. Journ. Physiol. 40 (547). 1926.
3 *Fridericia, L.:* Biochem. Ztschr. 85 (308). 1918.

chów korowych i proprioceptywnych z czynnych odcinków układu ruchowego. Hyperwentylacja neurogeniczna początkowego okresu pracy, nieproporcjonalna do wzrostu produkcji CO_2, powoduje wypłókiwanie ze krwi znacznych ilości CO_2, wydalanego przez płuca. Pomimo wykazywanej przez *Henderson'a* i *Haggard'a*[1] możliwości wyrównawczego przechodzenia uwalnianych od CO_2 zasad ze krwi do tkanek, oddziaływanie krwi wykazuje, równolegle do trwania hyperpnoe, coraz wyraźniejszą skłonność do alkalozy względnej (gazowej). Skłonność do hypokapnji, jako następstwo wzmożonego wydalania dwutlenku węgla, nieskompensowanego w tym okresie przez kwaśne metabolity pozostające oraz likwidowane prawdopodobnie w samych mięśniach, przemawia również za tem, że pochodzenie początkowej hyperwentylacji wiąże się z wpływami natury ośrodkowej. Praca umiarkowana, niepodnosząca wybitnie zużycia tlenowego oraz odbywająca się w warunkach względnej równowagi (steady state) produkcji i przemiany kwasu mlekowego, wywiera bardzo nieznaczny wpływ na równowagę zasadowo-kwasową. Wzmożenie oddychania utrzymuje przytem niezmienność zawartości [H_2CO_3] we krwi przez wydalanie CO_2 w miarę jego produkcji.

Natomiast wzrost intensywności pracy, podnoszącej zużycie tlenowe ponad 1,5—2 l/min. łączy się z reguły z występowaniem niedostatecznej przemiany produkowanego w mięśniach kwasu mlekowego. Likwidacja tego kwasu, nienadążająca za produkcją, okazuje szczególne opóźnienie podczas pracy odbywającej się w warunkach zaopatrzenia tlenowego, niepokrywającego zapotrzebowania wzmożonych procesów oksydacyjnych.

Nagromadzenie się w tych warunkach kwasu mlekowego łączy się z rozpoczynającą się dyfuzją tego kwasu do obiegu krwi. Jak wykazali *Evans* i *Eggleton*[2], szybkość procesu dyfuzji kwasu mlekowego sprawia, że już w pół minuty po krótkim skurczu tężcowym wyrównuje się koncentracja kwasu mlekowego w mięśniu i odpływającej z niego krwi żylnej. Należy więc sądzić, że, pomijając wypadki wyjątkowo szybkiej produkcji kwasu mlekowego, niedopuszczającej do wytworzenia owej równowagi, poziom kwasu mlekowego we krwi podczas pracy dłuższej jest proporcjonalny do całej ilości jego w ustroju (*Margaria* i *Edwards*[3]). Stopień nagromadzenia we krwi kwasu mlekowego nie okazuje przytem prostej proporcjonalności do absolutnej wielkości i czasu trwania pracy. Czynnikiem bardziej decydującym w tym względzie jest natomiast wielkość pracy na jednostkę czasu (tempo i obciążenie) oraz natężenie wysiłku indywidualnego. Przy wysiłkach średnich oraz długotrwałych, wzrost zawartości kwasu mlekowego jest bardzo nie-

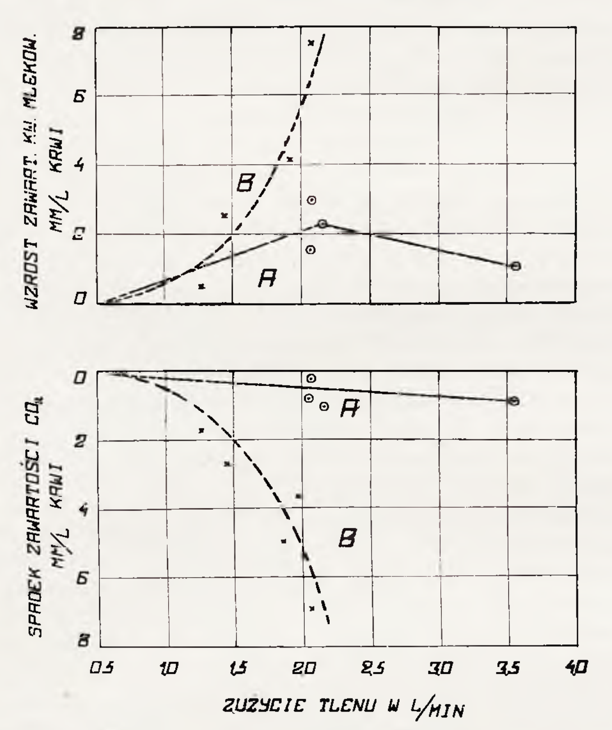
---

1 *Henderson, J.* a. *Haggard, H.:* Journ. of. biol. Chem. 33. 1918.
2 *Eggleton, M.* a. *Evans, C.:* Journ. of Physiol. 70 (261). 1930.
3 *Margaria, R.* a. *Edwards, H.:* Amer. Journ. of. Physiol. 107 (681). 1934.

znaczny, niekiedy może nawet zupełnie nie występować *(Buytendijk* [1]*).*

Według *Jervell'a* [2], przy przekroczeniu 900 kgm/min natężenia pracy (cykloergomierz), poziom koncentracji kwasu mlekowego we krwi podnosi się zupełnie wyraźnie oraz jest proporcjonalny do wzrostu obciążenia.

Po biegu 10 klm, wykonanym w czasie 41—43 min., poziom kwasu mlekowego we krwi od 10 mg% w spoczynku podnosi się do 73—104 mg% *(Schenk* i *Craemer* [3]*)*, po biegu maratońskim tylko do 19.4—36.3 mg%.



Rys. 36. Zmiany rezerwy alkalicznej i zawartości kwasu mlekowego we krwi przy zwiększonem natężeniu pracy u osobnika wytrenowanego (A) i niewytrenowanego (B) (Bock i współpr.).

Po wysiłkach forsownych krótkotrwałych znaczniejszy wzrost przechodzącego do krwi kwasu mlekowego zaznacza się już w pierwszych minutach wypoczynku *(Hill, Long* i *Lupton* [4], *Margaria, Ed-*

---

[1] *Buytendijk, F.* cyt. w/g. *Gollwitzer - Meier:* Hndb. d. norm. u. pathol. Physiol. 16.II (1130). 1930.
[2] *Jervell*, cyt. w/g. *Hansen, E.:* Hndb. d. norm. u. pathol. Physiol.
[3] *Schenk, P.* u. *Craemer, K.:* Arbeitsphysiol. 2 (169). 1929.
[4] *Hill, A., Long, C.,* a. *Lupton, H.:* Proc. Roy. Soc. B. 97 (84). 1924.

wards i *Dill*[1]). Po biegu 400 m nagromadzenie się kwasu mlekowego we krwi w 9 min. wypoczynku dochodzi prawie do 150 mg% (w moczu do 240 mg%). Po sprincie 100 m ilość kwasu mlekowego wzrasta do 100 mg%.

Poziom kwasu mlekowego we krwi podczas pracy długotrwałej nie przedstawia bynajmniej kryterjum wywoływanego przez nią znużenia. Może stanowić natomiast jeden ze sprawdzianów usprawnienia osobnika. Jak widać z wykresu 36 u dobrze wytrenowanego osobnika A (maratończyka) produkcja kwasu mlekowego jest zrównoważona przez proces jego przemiany. Przy biegu podnoszącym wentylację płuc do 90 l/min. i zużycie tlenowe do 3.5 l/min. zawartość kwasu mlekowego mało różni się od poziomu spoczynkowego. Inaczej przedstawia się sprawa u osobnika niewytrenowanego (B). Wysoki poziom kwasu mlekowego podczas pracy uwidacznia tu niewydolność procesów oksydacyjnych (*Bock*, *Dill* i inni[2]). Podobne różnice zaznaczają się w zmianach zawartości CO_2 we krwi. Krzywa stężenia CO_2 we krwi nasyconej tlenem przy 40 mmHg CO_2 okazuje u osobnika niewytrenowanego spadek przy podniesieniu zużycia tlenu podczas pracy powyżej 1 l/min. U wytrenowanego biegacza zawartość CO_2 we krwi pozostaje prawie bez zmian nawet przy wzroście zużycia O_2 do 3.5 l/min. Według *Dill'a* i współpracowników[2] wyraźna nadwyżka zawartości kwasu mlekowego we krwi osobnika wytrenowanego występuje przy intensywności pracy, odpowiadającej około $^2/_3$ maksymalnego natężenia metabolizmu. Przy dalszym wzroście intensywności pracy (tempa i obciążenia), poziom kwasu mlekowego we krwi zwiększa się bardzo szybko.

Zawartość kwasu mlekowego we krwi, wzrastająca po wysiłkach krótkotrwałych już w pierwszej minucie po ich ukończeniu, dochodzi do swego maximum dopiero po 6—9 min. wypoczynku oraz wraca do normy po 30—40 min. Krótkotrwała praca o średniem natężeniu może niekiedy powodować wyraźne obniżenie koncentracji kwasu mlekowego, które występuje w 15 minucie wypoczynku po poprzednim wzroście (*Wladimirow* i współ.[3]). Podniesienie poziomu kwasu mlekowego po wysiłkach długotrwałych trwa do 8—10 min., poczem dopiero rozpoczyna się powrót do stanu wyjściowego.

Następstwem przedostawania się do krwi tak dużych ilości kwasu mlekowego jest wyrównanie początkowego stanu względnej alkalozy z przejściem poprzez krótkotrwałą fazę izojonji do wzrostu stężenia jonów wodorowych.

---

[1] *Margaria, R., Edwards, H.* a. *Dill, D.:* Amer. Journ. of. Physiol. 106 (689). 1933.

[2] *Bock, A., Dill, D.* i współp.: Journ. of Physiol. 66 (176). 1928.

[3] *Wladmirow, G., Dmitrijew, G.* i *Urinson, A.:* Fizjolog. Żurn. 14 (139). 1933.

Pomimo uruchomienia we krwi bardzo czułego aparatu buforowego, mającego za zadanie utrzymanie stałej aktualnej reakcji krwi, wzrost intensywności pracy lub też znaczne przedłużenie czasu jej trwania prowadzi nieuchronnie do zakłócenia normalnej równowagi procesu produkcji i likwidacji kwasu mlekowego.

Dysproprocja pomiędzy wzmożeniem powstawania kwaśnych produktów pracy a czynnością mechanizmów wyrównawczych (niewystarczalność współdziałania aparatu buforowego i zaopatrzenia tlenowego) wzmaga się jeszcze bardziej w warunkach niedostatecznej efektywności funkcji krążenia. Krańcowym przykładem tej zależności jest wczesne występowanie zakwaszenia krwi przy wysiłkach fizycznych w przypadkach zaburzenia krążenia i wynikającej stąd niedostateczności dowozu tlenu do mięśni przy wadach serca (*Dresel* i *Himmelweit* [1]). Jak stwierdzają spostrzeżenia *Eppinger'a* [2], wyraźne zakwaszenie krwi występuje w tych warunkach nietylko podczas pracy, lecz może mieć miejsce również i podczas spoczynku. Przykładem znaczenia warunków ukrwienia dla przebiegu zmian biochemizmu w mięśniach może być efekt kolejnie następujących po sobie krótkotrwałych umiarkowanych wysiłków, wzgl. rytmicznej pracy, wykonywanej z przerwami przy każdym ruchu (trwanie przerwy równa się okresowi czynności motorycznej). Wpływ sprzyjających warunków krążenia podczas pracy, wykonywanej w 20—30 min. po poprzedniej, jak również podczas pracy przedzielonej rytmicznemi przerwami, ujawnia się w obniżeniu poziomu kwasu mlekowego we krwi i zwiększeniu jej rezerwy zasadowej (*Władimirow* i współpr. [3]).

U osobników zdrowych podniesienie poziomu kwasu mlekowego i wynikające stąd zmiany odczynu krwi są podczas pracy umiarkowanej naogół znikome. Przy wykonywaniu pracy w warunkach stanu równowagi (steady state) teoretycznie nie powinny występować. Zjawienie się bardzo nieznacznej nadwyżki kwasu mlekowego może tylko chwilowo wpłynąć na obniżenie pH krwi. Równowaga zasadowo-kwasowa zostaje szybko przywrócona dzięki buforowej funkcji krwi i odnośnych zmian wentylacji płuc. (*Schau-Kuang Liu* u. *Krüger* [4]). Zmiany odczynu krwi są natomiast zupełnie postrzegalne po przekroczeniu pewnej granicy natężenia wysiłku (około 900 kgm na min), zależnej zresztą od własności indywidualnych pracującego.

Dobra kondycja fizyczna łączy się naogół z minimalnemi zmianami pH krwi podczas pracy. Przykładem może być zestawienie *Bock'a*, *Dill'a* i współpr. zmian pH krwi podczas pracy (2 l/min zużycia O_2) u 4-ch osobników uszeregowanych według stopnia wytrenowania, poczynając od 1-go — najlepiej wytrenowanego:

---

1 *Dresel, K.* u. *Himmelweit, T.:* Ztschr. klin. Med. 112. 1930.
2 *Eppinger, Kisch* u. *Schwarz:* Das Versagen des Kreislaufes. 1927.
3 *Wladimirow, P., Dmitrijew, G.* i *Urinson, A.:* loc. cit.
4 *Schau-Kuang Liu* u. *Krüger, R.:* Ztschr. f. exper. Med. 61 (787). 1928.

Osobnik	pH krwi żylnej	
	w spoczynku	podczas pracy
1	7.42	7.40
2	7.44	7.38
3	7.45	7.36
4	7.42	7.27

Obniżenie pH krwi po 3.5 min pracy o 1000 mkg na min dochodzi, według *Barr'a, Himwich'a* i *Green* [1], do 0.04 — 0.25. Po wysiłkach forsownych pH krwi żylnej może obniżyć się nawet poniżej 7.0 (*Laug* [2]). Równolegle do wzrostu koncentracji kwasu mlekowego, spadek pH krwi dochodzi do swego maximum w 3—6 min, a nawet 15 min po ukończeniu wysiłku. Stopniowy powrót pH krwi do poziomu spoczynkowego może się przeciągnać nawet do 1½—1 godz. trwania wypoczynku (*Ewig* i *Wiener* [3]).

Brak bezwzględnej współzależności pomiędzy stopniami stężenia kwaśnych metabolitów a obniżeniem pH krwi podczas i po pracy tłumaczy się współdziałaniem skoordynowanych mechanizmów buforowych i wydalniczych.

Zmiany we krwi tętniczej podczas i po pracy (*Barr* i *Himwich*).

	Zdolność wiąz. CO_2 przy 40 mmHg	Prężność CO_2 krwi tętniczej	pH krwi tętniczej
1. Przed pracą	50.1	40.0	7.35
Podczas ostatniej minuty	41.5	37.5	7.25
2. Przed pracą	50.1	48.0	7.30
1 min. po	35.1	43.2	7.16
3 „ „	32.5	38.5	7.15
3. 3 minuty po	33.5	34.5	7.19
15 minut po	37.5	36.5	7.23
30 „ „	45.2	38.7	7.31

Zjawienie się dużych ilości kwasu mlekowego we krwi podczas pracy intensywnej powoduje odpowiedni rozkład dwuwęglanów sodu z uwalnianiem rozporządzalnego oraz nowoutworzonego dwutlenku węgla, wydalanego przez płuca:

$$\underset{\text{Kwas mlekowy}}{CH_3\ CHOH\ .\ COOH} + \underset{\text{Węglan sodu}}{NaHCO_3} \rightarrow \underset{\text{Mleczan sodu}}{CH_3CHOH\ .\ COONa} + \underset{\text{Kwas węglowy}}{H_2CO_3}$$

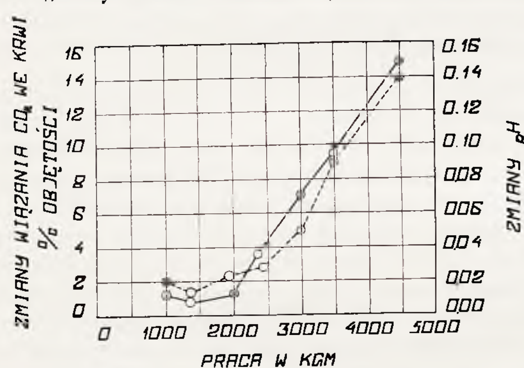
Przedłużenie pracy odbywa się zatem z wyraźnym spadkiem ciśnienia CO_2 w pęcherzykach. W doświadczeniach *Haldane'a*

---

[1] *Barr, Himwich* a. *Green:* Journ. of biol. chem. 55 (495). 1923.
[2] *Laug, E.:* Amer. Journ. of Physiol. 107 (687). 1934.
[3] *Ewig, W.* u. *Wiener R.:* Ztschr. f. exper. Med. 61 (562). 1928.

i *Quastel'a*[1] ciśnienie CO_2 w pęcherzykach bezpośrednio po wysiłku obniżało się do 25 mmHg, zaś po wysiłkach forsownych (50 km bieg narciarski i bieg patrolowy) — nawet do 20—15 mmHg *(Loewy*[2]*)*. Spadek całkowitej zawartości CO_2 we krwi w 1-ej min po krótkotrwałej intensywnej pracy może dochodzić do 62—80% poziomu wyjściowego *(Prikładowitzky* i *Appollonow*[3]*)*.

Należy sądzić, że spadek ciśnienia CO_2 pęcherzykowego, następujący przy pracy forsownej po początkowym wzroście, może stanowić jeden z przejawów wytwarzania zespołu zjawisk, jako t. zw. „oddychanie wtórne" (second wind autorów angielskich).



Rys. 37. Zmiany zdolności wiązania CO_2 i pH krwi podczas pracy o wzrastającem natężeniu (w/g Barr'a, Himwich i Green).

Przesunięcie równowagi jonów H w kierunku kwasoty łączy się w opisanych warunkach z redukcją zasobu zasadowego. Wzrost zawartości we krwi kwasu mlekowego powoduje zmniejszenie pojemności krwi na dwutlenek węgla *(Ryffel*[4]*, Barr, Himwich* i *Green*[5]*)*. Podniesienie poziomu kwasu mlekowego we krwi o 10 mg% odpowiada według *Jervell'a*[6] zmniejszeniu zdolności krwi wiązania CO_2 przeciętnie o 2.65—3.98% objętościowych. Krew wiąże zatem mniejsze ilości CO_2 w tkankach oraz wydala mniej tego gazu w płucach. Redukcja rozporządzalnych rezerw zasadowych okazuje pewną równoległość do wzrostu intensywności pracy *(Barr* i *Himwich)*.

Praca kgm	Ogólna zawartość CO_2 we krwi w % objęt. przy 40 mmHg CO_2 przed pracą	po pracy	Różnica zawartości CO_2% objętości
1020	44.7	43.2	— 1.5
1371	43.4	42.5	— 0.9
3048	47.9	41.0	— 6.9
4530	45.0	30.4	—14.6

[1] *Haldane, J.* a. *Quastel:* Journ. of Physiol. 59 (138). 1924.
[2] *Loewy:* Die Sportärtzl. Erg. d. olimp. Winterspiele. 1928.
[3] *Prikladowitzky, S.* i *Appollonow, A.:* Arbeitsphysiol. 3 (315). 1930.
[4] *Ryffel, J.:* Journ. of Physiol. 39 (29). 1909—10.
[5] *Barr, D., Himwich, H.* a. *Green, R.:* Journ. of biol. Chem. 55 (495). 1923.
[6] *Jervell, O.:* loc cit.

Naogół więc redukcja rezerwy zasadowej zwiększa się i przyśpiesza ze wzrostem wielkości pracy na jednostkę czasu. Nagromadzenie dużych ilości kwasu mlekowego podczas intensywnych a krótkotrwałych wysiłków może spowodować spadek rezerwy dwuwęglanowej więcej aniżeli do połowy. Wobec niedostatecznego czasu oraz podyktowanego względami mechanicznemi (sprinty) ograniczenia oddychania, wysiłki krótkotrwałe łączą się nadto z chwilowym wzrostem zawartości we krwi H_2CO_3, co jeszcze bardziej wpływa na obniżenie pH krwi. Ilość CO_2 w pęcherzykach płucnych i we krwi podnosi się w tych warunkach powyżej poziomu normalnego oraz zostaje wyrównana dopiero po ukończeniu pracy na drodze wzmożonego oddechu.

Absolutne zmniejszenie pojemności krwi na CO_2 towarzyszy również i pracy o natężeniu średniem. A więc po biegu 1500 m spadek rezerwy zasadowej może dochodzić do 30% *(Salvesen* [1]*)*. W porównaniu z pracą dynamiczną, praca statyczna łączy się z mniejszym oraz później występującym wzrostem zawartości kwasu mlekowego i odpowiednio mniejszą redukcją zasobu zasadowego *(Riabouschinsky* [2], *Marschak* [3]*)*. Praca długotrwała wywołuje naogół mniejsze zmiany zasobu zasadowego, aniżeli intensywne wysiłki krótkotrwałe *(Krawtschinsky* [4], *Schenk* [5]*)*. Stopień redukcji zasobu zasadowego jest przytem często znaczniejszy od wzrostu zawartości kwasu mlekowego we krwi, co wskazuje na nagromadzanie się innych substancyj o oddziaływaniu kwaśnem, względnie na przechodzeniu zasad z krwi do tkanek *(Schenk* [5]*)*. Obniżenie pojemności krwi na CO_2 podczas pracy jest większe u osobników niewytrenowanych w porównaniu z wytrenowanymi. Czas przywracania wyjściowego (spoczynkowego) poziomu rezerwy zasadowej, zależnie od zmiany wywołanych pracą, może przedłużać się do 1½—2 godz.

Proces wyrównywania nadmiaru kwaśnych przetworów pracy nie ogranicza się do szybkości działania aparatu buforowego krwi. Szybko zjawiająca się podczas intensywnych wysiłków nadwyżka zawartości kwasu mlekowego we krwi ulega niemniej szybkiej likwidacji po przedostaniu się z obiegu krwi do wątroby oraz mięśni bezpośrednio w pracy nieczynnych. Porównanie składu krwi tętniczej, dopływającej do mięśni nieczynnych, z krwią żylną, z nich wypływającą, wykazuje wyraźne zmniejszenie zawartości kwasu mlekowego we krwi żylnej *(Barr, Himwich* [6]*)*. Jednoczesny wzrost zdolności krwi żylnej wiązania CO_2 po opuszczeniu mięśni niepracujących, wskazuje na wyrównanie ubytku rezerw zasadowych krwi,

---

[1] *Salvesen, H.* cyt. w/g. *Schneider, E.:* Physiology of muscular Activity. 1933.

[2] *Riabouschinsky:* Biochem. Zschr. 193. 1928.

[3] *Marschak, M.:* Arbeitsphysiol. 4. 1931.

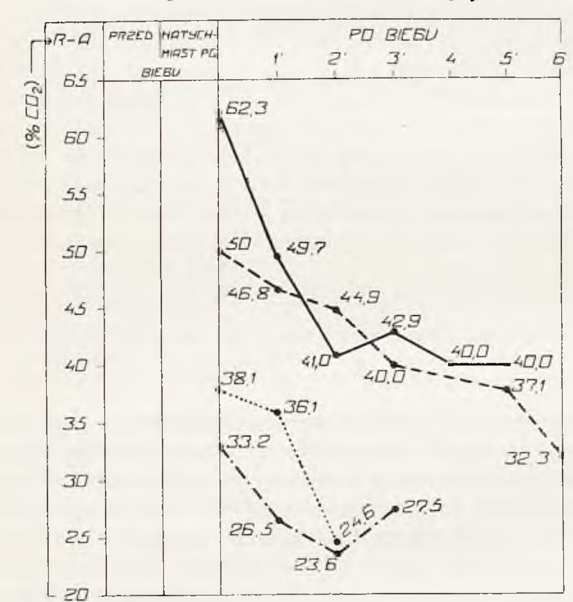
[4] *Krawtschinsky:* Arbeitsphysiol. 4 (251). 1931.

[5] *Schenk, P.:* Münch. med. Wschr. 48 (2050). 1925.

[6] *Barr, D.* a. *Himwich, H.:* Journ. of biol. Chem. 55 (525). 1923.

równolegle do przemiany części zawartego w mięśniach kwasu mlekowego.

Z chwilą ukończenia pracy, stopniowe przywracanie spoczynkowej równowagi zasadowo-kwasowej we krwi odbywa się z szybkością, zależną zarówno od ilości wytworzonego kwasu mlekowego, jak i od wydolności narządów spółdziałających w jego usuwaniu. Do tych ostatnich, poza mięśniami, niebiorącemi udziału w pracy, dołącza się czynność nerek, skóry, a szczególnie wątroby. Duże znaczenie wątroby dla procesów likwidacji nadwyżki kwasu mlekowego ujawnia się w podniesieniu stężenia tego ostatniego we krwi przy niedomodze syntetycznej funkcji wątroby w jej schorzeniach. Istnienie szeregu mechanizmów, biorących udział w usuwaniu nad-

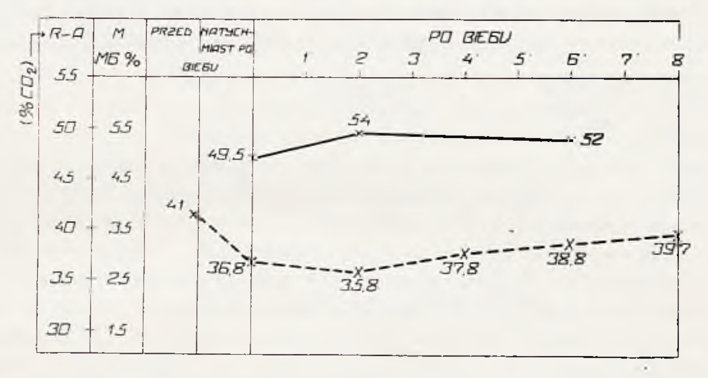


Rys. 38. Rezerwa alkaliczna (linja przerywana górna i zawartość kwasu mlekowego (linja ciągła) we krwi po 100-m biegu (Schenk).

miaru kwasu mlekowego po intensywnej pracy, sprawia, że zawartość jego we krwi żylnej, pochodzącej z poszczególnych narządów, może być różna w zależności od efektywności odbywającej się w niej przemiany kwasu mlekowego. Proces regulacji poziomu kwasu mlekowego nie ogranicza się, prawdopodobnie, do wyżej wskazanych mechanizmów. Fakty zanikania pewnych ilości kwasu mlekowego przy przepływie krwi przez płuca, (*Eppinger* i *Schiller* [1], *Gollwitzer-Meier* i *Winterstein* [2]), pozwalają przypuszczać, że zjawiska oksydacyjnej przemiany kwasu mlekowego odbywają się też i w płucach. Według *Alpern'a, Simonson'a, Sirkinej* i *Tutkiewitsch'a* na procesy te może zużywać się do 10—20% pobieranego w okre-

[1] *Eppinger, u. Schiller:* Wien. med. Wschr. 1 (139) 1920, 2 (581) 1921.
[2] *Gollwitzer-Meier, K.* u. *Winterstein:* Pflüg. Arch. 219 (202). 1928.
[3] *Alpern, D. Simonson, E., Sirkina, G.* u. *Tutkiewitsch.* Pflüg. Arch. 265 (554). 1935.

sie wypoczynku tlenu. Usuwanie nadwyżki wyprodukowanego kwasu mlekowego jest procesem bardzo powolnym. Przebieg obniżenia poziomu kwasu mlekowego we krwi na początku wypoczynku po pracy okazuje nadto opóźnienie, wytłumaczenie którego można upatrywać albo w opóźnieniu dyfuzji kwasu mlekowego z mięśni, albo powolnością jego spalania, lub wreszcie jego opóźnioną produkcją. Opóźnienie usuwania kwasu mlekowego wynosi u osobników wytrenowanych około 6—8 min, u niewytrenowanych okres ten jest 2—3 razy dłuższy *(Margaria, Edwards* i *Dill* [1]*)*.



Rys. 39. Rezerwa alkaliczna (linja przerywana) i zawartość kwasu mlekowego (linja ciągła) we krwi po 10000 - m biegu (Schenk).

Szybkość oksydacyjnej przemiany kwasu mlekowego zależna jest zatem od stopnia sprawności zaopatrzenia tlenowego. Osobnicy wytrenowani, odznaczający się znaczniejszą wydolnością funkcji oddychania, w szybszym czasie przywracają normalne warunki fizyczno-chemiczne we krwi, w porównaniu z osobnikami niewytrenowanymi.

Wykładnikiem obrazu zmian gospodarki zasadowo-kwasowej krwi podczas wypoczynku jest wielkość wydalania w tym okresie dwutlenku węgla. Pierwsze minuty wypoczynku przypadają na okres, kiedy większa część wytworzonego kwasu mlekowego pozostaje jeszcze w mięśniach. Przesunięcie oddziaływania krwi w kierunku kwasoty dochodzi do swego maximum dopiero po 3—4 minutach wypoczynku *(Hill* [2]*)* i później, kiedy po przejściu kwasu mlekowego do krwi równowaga pod względem zawartości tego kwasu w mięśniach i we krwi zostaje przywrócona. Obniżenie pH krwi może pozostawać 1½ do 2 godz. pomimo powrotu wentylacji płuc po pracy do normy. Wydalanie CO_2 w stosunku do pobierania O_2 wykazuje wyraźną przewagę, powodując wzrost ilorazu oddechowego powyżej jedności. Trwanie po ukończeniu pracy wydalania

---

[1] *Margaria, R., Edwards, H.* a. *Dill, D.:* loc. cit.
[2] *Hill, A.:* loc. cit.

znacznych ilości CO_2 pochodzi stąd, że aczkolwiek ustrój zdołał wyeliminować podczas pracy dużą ilość CO_2 wytworzonego zarówno poprzednio, jak i pochodzącego ze spalania oraz wyrugowanego przez kwas mlekowy z dwuwęglanów, — to jednak szybkość produkcji kwasu mlekowego pozostawała podczas pracy niewspółmiernie większa, aniżeli możliwość wydalania CO_2 przez płuca. Istniejący nadal po ukończeniu pracy nadmiar tego związku, wytwarzanego podczas wypoczynku przy spalaniu kwasu mlekowego oraz uwalnianego z dwuwęglanów, utrzymuje stężenie H - jonów na wysokim poziomie. Dopiero wzmożone i szybkie wydalanie CO_2 pozwala ustrojowi wyrównać zachwiane oddziaływanie krwi pomimo przejścia do niej dużych ilości kwasu mlekowego.

Pierwszy ostry okres procesów likwidacji zachwiania odczynu krwi, związany z przejściem do niej znaczniejszych ilości kwaśnych radykałów, po kilku minutach, wraz z obniżeniem we krwi poziomu H_2CO_3, ustępuje miejsce fazie wypoczynkowej powolniejszej. Równowaga zasadowo-kwasowa ulega w tym czasie nowym zmianom, jakie łączą się z procesem spalania kwasu mlekowego i odbudową źródeł energetycznych. W następstwie uwalniania znacznych ilości zasad, równolegle do coraz bardziej postępującej przemiany spoczynkowej kwasu mlekowego, wytwarzają się warunki do wzrostu pH krwi:

$$\underset{\text{Mleczan sodu}}{CH_3\,CHOH\,.\,COONa} + \underset{\text{Kwas węglowy}}{H_2CO_3} \rightarrow \underset{\text{Kwas mlekowy}}{CH_3CHOH\,.\,COOH} + \underset{\text{Węglan sodu}}{NaHCO_3}$$

Czynnikiem kompensującym zachwianą równowagę $\frac{[H_2CO_3]}{[BHCO_3]}$ jest ograniczenie w tej fazie wydalania CO_2, mające na celu przywrócenie zmniejszonego po przebyciu hyperwentylacji zasobu rozporządzalnego CO_2. Po początkowem (pierwsze minuty wypoczynku) wyrównawczem wypłókaniu z ustroju dwutlenku węgla następuje więc faza nagromadzania tego gazu drogą odpowiednio zmniejszonej wymiany gazowej w płucach. Ilość zatrzymanego w drugim okresie wypoczynku CO_2 może być miarą wytworzonego podczas pracy kwasu mlekowego. Iloraz oddechowy, znacznie przekraczający jedność w pierwszym okresie wypoczynku, nietylko że powraca do wielkości wyjściowej, lecz spada jako reguła znacznie niżej, dochodząc do 0.7—0.6, a nawet do 0.55 (*Missiuro* i *Szulc*[1]).

Stopień ograniczenia wydalania CO_2 przez płuca, proporcjonalny do redukcji rozporządzalnych rezerw zasadowych podczas pracy, zależny jest od stanu wytrenowania. Wysokość sprawności funkcjonalnej mięśni, a przedewszystkiem podniesienie w następstwie treningu wydolności regeneracji chemicznej tkanki mięsnej i jej aparatu buforowego oraz zadawalniający współudział funkcji wątroby, nerek i skóry w likwidacji nadmiaru kwasu mlekowego, zmniejszają ubytek rezerw zasadowych krwi podczas pracy, redukując tą drogą wahania gospodarki zasadowo-kwasowej.

---

[1] *Missiuro, W.* i *Szulc, G.:* Przegl. Sport.-Lek. 2 (40). 1930.

Rola nerek w regulacji równowagi zasadowo-kwasowej krwi nie ogranicza się do wydalania kwasu mlekowego. Z moczem wydalane są również i inne kwasy, powstające podczas wzmożonych procesów przemiany, towarzyszących odbytej pracy.

W rzędzie narządów, biorących udział w utrzymywaniu niezmienności odczynu krwi, w regulacji stałego poziomu składu mineralnego, a szczególnie zawartości kwasu fosforowego we krwi, pewną rolę pomocniczą może odgrywać przewód pokarmowy (jelita).

Regulacja ośrodka oddechowego.

Wzrost intensywności procesów utleniania w mięśniach pracujących wiąże się nietylko z większem, w porównaniu ze spoczynkiem, zużyciem tlenu, lecz i powoduje jednocześnie wzmożenie wydalania dwutlenku węgla. Określenie wymiany gazowej podczas pracy o średniem natężeniu wykazuje, że ze wzrostem minutowego zużycia O_2 zwiększa się ciśnienie CO_2 w pęcherzykach płucnych. Podniesienie prężności CO_2 we krwi podczas intensywnych krótkotrwałych wysiłków nie jest jednak proporcjonalne do stopnia zwiększenia wentylacji płucnej. Wzrost oddychania podczas pracy może trwać pomimo obniżenia prężności dwutlenku węgla przy wysiłkach forsownych, dłużej trwających.

Należy wnioskować, że zmiany regulacji wielkości oddychania podczas intensywnej pracy podlegają współdziałaniu innych czynników, przywiązanych do wzmożonej czynności układu ruchowego.

W rzędzie tych ostatnich, do których należy zaliczyć, między innemi, obniżenie prężności tlenu we krwi oraz wpływ irradacji impulsów z kory mózgowej, jak również rdzeniowo-mózgowych do ośrodków oddechowych, główną rolę odgrywa zwiększenie we krwi kwaśnych produktów pracy, a przedewszystkiem kwasu mlekowego. Przeładowanie ustroju kwasem mlekowym ze wszystkiemi jego następstwami dla oddychania, może zachodzić nawet podczas wysiłków mięśniowych krótkotrwałych. Bieg 3 minutowy o maksymalnej szybkości może np. zwiększyć zawartość kwasu mlekowego do 70.8 mg w 100 cm^3 krwi, w porównaniu z 5—20% mg normalnej zawartości w spoczynku. Nagromadzenie kwasu mlekowego, z przemijającem zwiększeniem prężności CO_2 we krwi w rezultacie rozkładu dwuwęglanów, łączy się skolei z obniżeniem pH krwi, wpływającem na każdorazowy stan napięcia ośrodka oddechowego. Wyrównanie oddziaływania krwi podczas wyrugowywania CO_2 przez kwas mlekowy z węglanów odbywa się za pośrednictwem wzmożonego przewietrzania płuc, a co zatem idzie zwiększeniem wydalania dwutlenku węgla.

Funkcja oddychania odgrywa więc podczas pracy rolę podwójną: z jednej strony musi ona nadążyć w należytem zaopatrywaniu tkanek w tlen odpowiednio do każdorazowych wymagań pracy, z drugiej — jest podstawą bardzo czułego mechanizmu re-

gulującego oddziaływanie krwi, niedopuszczającego do jakichkolwiek poważniejszych zmian przy zwiększeniu w ustroju kwaśnych przetworów przemiany. Norma likwidacyjna tych kwaśnych produktów pracy powinna obejmować nietylko procesy przemiany kwasu mlekowego, lecz również i należyte wydalanie ciągle wytwarzanego przy spalaniu dwutlenku węgla. Równoległy przebieg zwiększenia zawartości tego związku we krwi i wzmożenie oddechu wskazują, że w regulacji automatycznej czynności oddychania podczas pracy główną rolę odgrywa stan chemizmu krwi.

Automatyzm ośrodka oddechowego, podlegającego regulacji humoralnej i odruchowej, czule reaguje na każdorazowe zmiany własności fizyko-chemicznych krwi, które stanowią skolei odbicie natężenia procesów przemiany. Rytmiczna czynność ośrodka oddechowego utrzymuje się nawet po wyłączeniu wszystkich wpływów obwodowych.

Zależność pomiędzy aktywnością ośrodka a składem krwi została ujawniona w długim szeregu prac, poczynając od doświadczeń *Rosenthal'a*[1] (1862), upatrującego w obniżeniu prężności O_2 we krwi tętniczej specyficzny bodziec dla tonizacji ośrodka oddechowego.

Pflüger[2], *P. Bert*[3], *Frédéricq*[4] wykazali wzmożenie głębokości i liczby oddechów w warunkach zubożenia krwi w tlen i zwiększenia zawartości w niej dwutlenku węgla. Przyczynę pobudzenia ośrodka oddechowego przywiązywano do zwiększenia produktów niecałkowitego spalania *(Pflüger, Hermann*[5]*)* przy niedoborze tlenowym, względnie w podniesieniu w tych warunkach wrażliwości ośrodka na CO_2 *(Haldane* i *Poulton*[6]*)*. Przeciwnie, nasycenie krwi tlenem zmniejsza, według *Vernon'a*[7], wrażliwość ośrodka oddechowego na CO_2.

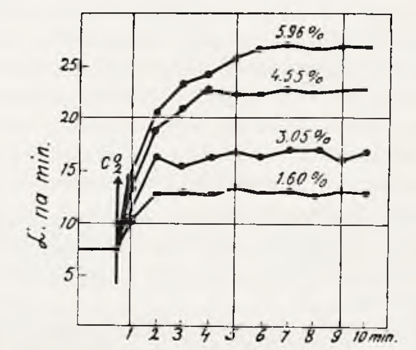
Wysunięcie dwutlenku węgla na czołowe miejsce w zjawiskach regulacji oddychania datuje się od doświadczeń *Miescher'a*[8], *Haldane* i *Lorrain-Smith*[9], którzy wykazali wzrost wentylacji płuc przy zwiększeniu stężenia CO_2 w powietrzu wdechowem, wtenczas gdy przy normalnej zawartości CO_2 oraz dość daleko posuniętem zmniejszeniu stężenia O_2 w powietrzu wdechowem wielkość oddychania ulega bardzo nieznacznym zmianom.

Haldane i *Priestley*[10] wykazali nadzwyczajny stopień czułości

---

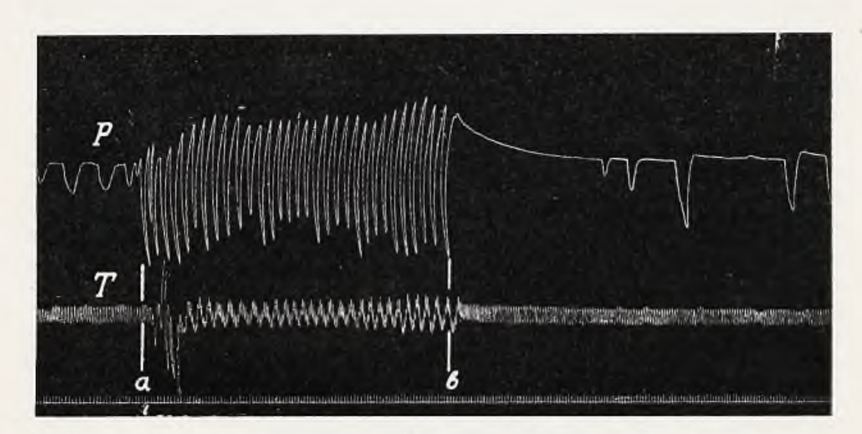
[1] *Rosenthal, J.:* Hermanns Hndb. d. Physiologie 4. 1880.
[2] *Pflüger, E.:* cyt. w/g *Haldane*. Respiration. 1927.
[3] *Bert, P.:* La pression barométrique. 1878.
[4] *Frédéricq, S.:* Arch. d. Biol. 7 (217). 1886.
[5] *Hermann, L.:* Hndb. d. Physiologie. 1880.
[6] *Haldane, J.* a. *Poulton:* Journ. of Physiol. 37 (390). 1908.
[7] *Vernon, H.* Proceed. Physiol. Soc. 18. 1909.
[8] *Miescher, E.* cyt. w/g. *Gollwitzer-Meier* w Hndb. d. norm. u. pathol. Physiol 16/1. (1101). 1930.
[9] *Haldane, J.* a. *Lorraine-Smith* cyt. w/g. *Bayer, G.* w Hndb. d. norm. u. pathol. physiol. 2 (243). 1925.
[10] *Haldane, J.* a. *Priestley, J.:* Journ. of Physiol. 32 (390). 1908.

reakcji ośrodka oddechowego na zawartość CO_2 we krwi tętniczej, stwierdzając wzrost wentylacji płuc w dwójnasób przy podniesieniu ciśnienia CO_2 pęcherzykowego o 0.2% (o 1.5—1.6 mmHg.).



Rys. 40. Wzrost wentylacji płuc przy zwiększeniu zawartości CO_2 w powietrzu wdechowem. (Padget).

Według *Cambell'a, Douglas'a* i *Hobson'a*[1], jak również *Liljestrand'a*[2] wentylacja płuc zwiększa się o 4—6.3 ltr. na min. na 1 mm. wzrostu ciśnienia CO_2 w pęcherzykach, co odpowiada zmianie pH krwi o 0.006—0.008. Znaczniejszy wzrost CO_2 w powietrzu wdechowem powoduje stan dyspnoe. Obniżenie prężności CO_2 we krwi po hyperwentylacji płuc powoduje natomiast występowanie stanu bezdechu (apnoe).



Rys. 41. Stan apnoe po hiperwentylacji płuc u człowieka. P — pneumogram, T — krzywa tętna. Od a do b hiperwentylacja. Od b wprawo — stan apnoe oraz przywrócenie ruchów oddechowych ze skłonnością do oddychania okresowego. (Missiuro).

---

[1] *Campbell, J.*, Douglas, C. a. Hobson, F.: Journ. of Physiol. 48 (303).
[2] *Liljestrand, G.*: Skand. Arch. f. Physiol. 35 (271). 1917.
1914.

Analogiczne następstwa hyperwentylacji powietrzem ubogiem w tlen, lub też gazem obojętnym (wodorem) potwierdziły znaczenie CO_2 dla tonizacji ośrodków oddechowych. W warunkach oddychania normalnego już nieznaczne ilości CO_2 pobudzają automatyzm ośrodków.

Nowych dowodów, że zasadniczym czynnikiem w pobudzaniu ośrodka oddechowego są zmiany prężności dwutlenku węgla — nie zaś wahania zawartości tlenu dostarczył *Winterstein*[1]. Podczas przepuszczania przez naczynia krwionośne zwierząt nowonarodzonych roztworu Ringera, niezawierającego śladów CO_2, badacz ten obserwował dłuższe stany bezdechu (apnoe), które przy niezmienianiu warunków doświadczenia można było doprowadzić do asfiksji. Analogiczne zjawiska występowały przy użyciu roztworu Ringera pozbawionego tlenu lub też przy zredukowaniu zawartości tego gazu. Dodanie do roztworu CO_2 powodowało natychmiast pobudzenie ruchów oddechowych.

Pomimo, iż specyficzne działanie CO_2 odgrywa dużą rolę w regulacji tonusa ośrodka oddechowego, nie bez znaczenia dla wielkości oddychania pozostają również wybitniejsze zmiany zawartości tlenu w powietrzu wdechowem. Kompensacyjny wzrost wentylacji płuc występuje jednak dopiero przy spadku zawartości tlenu w atmosferze poniżej 14% oraz wzmaga się znacznie tylko podczas bardzo niskiej zawartości tego gazu, dochodząc do 180% wartości wentylacji normalnej, dopiero przy 8.0—6.4% tlenu w powietrzu wdechowem (*Missiuro*[2]). Zbliżona reakcja wzmożenia wentylacji płuc przy niedoborze tlenowym opisana została również przez *Speck'a*[3] i innych.

Zmiany wentylacji płuc przy stopniowym ubytku tlenu w powietrzu wdechowem (*Missiuro*).

% O_2 w powietrzu wdechowem	Liczba badań	wentylacja płuc: ltr/min	wentylacja płuc: % wartości spoczynk.
20.93	14	6.97	100
15.68 — 14.05	5	7.34	100.8
14.04 — 11.10	11	7.44	108.0
11.09 — 10.01	10	8.29	127.5
10.00 — 8.02	22	9.51	137.5
8.01 — 6.40	6	12.85	180.0

Późniejsze doświadczenia *Wintersteina*[4] wykazały, że podobne działanie do CO_2 okazuje wprowadzenie do ustroju innych kwasów, a więc dodanie do roztworu pozbawionego CO_2 nawet nieznacznej ilości kwasu solnego (1/1000 n-roztworu HCl w płynie

---

[1] *Winterstein, H.:* Arch. f. Physiol. 128 (159). 1911.
[2] *Missiuro, W.:* Przegl. Fizjol. Ruchu. 4 (143). 1932.
[3] *Speck, G.:* Physiologie d. menschlichen Atmens. 1892.
[4] *Winterstein, H.:* Biochem. Zeitschr. 70 (45). 1915.

Ringera) pobudza wybitnie rytmikę oddechową. Analogiczny efekt uzyskano przy zastosowaniu innych kwasów, jak kwas siarkowy, winny, mlekowy. Przeniesienie punktu ciężkości w funkcjonowaniu ośrodka oddechowego na specyficzne działanie CO_2 okazało się niezadawalniające oraz musiało ulec rozszerzeniu przez przeniesienie analogicznego działania na kwasy wogóle. Stąd też wniosek *Wintersteina*[1], rozbudowany później przez *Hasselbalch'a*[2], że pobudzenie ośrodka oddechowego odbywa się za pośrednictwem jonów H. Wykazano, że w warunkach eksperymentalnych można zmniejszyć zawartość CO_2 we krwi, pozostawiając oddziaływanie krwi oraz napięcie czynnościowe ośrodka na poziomie normalnym. W innych eksperymentach zanotowano zmniejszenie wentylacji płuc, pomimo wzrostu stężenia CO_2 pęcherzykowego (*Winterstein* i *Frühling*[3]).

W myśl powyższych teoryj działanie CO_2 na ośrodek oddechowy należałoby przypisywać wyłącznie jonom H zdysocjowanego H_2CO_3. Potwierdzeniem tonizującego działania jonów H jest również zjawisko wybitnego hyperpnoe po intensywnej pracy, występujące pomimo obniżenia stężenia CO_2 w pęcherzykach płucnych. (*Hasselbalch*[2]):

	pH krwi	Stężenie CO_2 w pęcherz.
przed pracą	7.33	38.2 mmHg
po pracy	7.21	29.4 „
przed pracą	7.33	38.1 mmHg
po pracy	7.21	31.3 „
w 1 godz. po pracy	7.35	35.5 „

Przytoczone fakty pokrywają się zatem z wnioskiem *Haldane'a* i *Boycott'a*, wyprowadzonym przy okazji badań wpływów rozrzedzonego powietrza na oddychanie oraz stwierdzającym, że zarówno CO_2, jak i kwas mlekowy, oddziaływują na ośrodek oddechowy za pośrednictwem jonów H, wyzwalających się przy dysocjacji tych kwasów. Znane obserwacje podrażnienia ośrodka przy zatruciach kwasem solnym (*Lehmann*[4]) oraz dawniej wysunięte poglądy (*Pflüger*[5], *Geppert* i *Zuntz*[6]), że niedobór tlenowy pobudza oddychanie przez tworzenie się w ustroju kwaśnych przetworów niecałkowitego spalania — zyskują w myśl teorji (Reakzionstheorie) *Winterstein'a* — *Hasselbalch'a* pośrednie uzasadnienie.

W świetle powyższej teorji wzmożenie ruchów oddechowych podczas pracy mięśniowej oraz stany dyspnoe przy wysiłkach for-

---

[1] *Winterstein, H.:* loc. cit.
[2] *Hasselbalch, K.:* Biochem. Zeitschr 43 (403) 1912, 78 (112) 1916.
[3] *Winterstein, H.* u. *Frühling, G.:* Pflüg. Arch. 234. 1934.
[4] *Lehmann*, cyt. w/g. *Cordier, D.* et *Heymans:* Ann. de Physiol. 9 (539). 1935.
[5] *Pflüger, E.* cyt. w/g. *Haldane:* Respiration.
[6] *Geppert, J.* u. *Zuntz, N.:* Pflug. Arch. 42 (189). 1888.

sowniejszych są zatem wyrazem zwiększenia stężenia jonów wodorowych w rezultacie zjawienia się w ustroju znaczniejszych ilości kwaśnych metabolitów (dyspnoe hematogenne). Wentylacja płuc odgrywa przytem rolę kardynalnego mechanizmu, niedopuszczającego do zakwaszenia krwi przez wydalanie odpowiednich ilości dwutlenku węgla. Wentylacja płuc zmienia się równolegle do zmian stężenia jonów H, i jest poniekąd sprawdzianem wrażliwości ośrodka oddechowego. Znamienny jest stopień wrażliwości ośrodka oddechowego na zmianę oddziaływania krwi. Wystarczy już nieznaczne podniesienie koncentracji jonów H, by spowodować wzrost wentylacji płuc (hyperpnoe hematogenne).

Normalna pobudliwość ośrodka oddechowego zabezpiecza należyte wydalanie CO_2, celem każdorazowego wyrównania nadmiaru stężenia jonów H. Wielkość oddychania oraz zawartość dwutlenku węgla we krwi regulowane są zatem ciśnieniem tego gazu w pęcherzykach płucnych. Ciśnienie pęcherzykowe CO_2, proporcjonalne do zawartości we krwi H_2CO_3, określa aktualny stan koncentracji jonów H (stosunku: $\frac{[H_2CO_3]}{[BHCO_3]}$) oraz odpowiadającą mu wielkość wentylacji płuc.

Stany znaczniejszego przesunięcia oddziaływania krwi w kierunku kwasoty świadczą o obniżeniu pobudliwości ośrodka oddechowego na normalne bodźce, jak również mogą występować w warunkach daleko posuniętej redukcji w ustroju rezerwy alkalicznej.

Pomimo ustalenia zasadniczego faktu — działania stężenie jonów H, jako czynnika, pobudzającego napięcie ośrodka oddechowego, — pozostaje nadal niezgłębiona kwestja specyficznego działania CO_2, który w pewnych warunkach nabiera cech aktywatora oddechu, niezależnie od swoistego wpływu pH krwi. Na możliwość działania dwutlenku węgla, stymulującego ośrodek oddechowy naskutek swoistych właściwości tego gazu oddziaływania na protoplazmę komórek, wskazywałyby spostrzeżenia stanów hyperpnoe, które mogą występować przy względnem podniesieniu zasadowości krwi. Podobnie zanotowano (*Laqueur* i *Verzar*[1]), że przy pH neutralnem lub też zlekka alkalicznem dwutlenek węgla może pobudzać ośrodek w znaczniejszym stopniu, aniżeli po dodaniu jakiegoś innego kwasu. Działanie na ośrodek oddechowy kwasów *Laqueur* i *Verzar* sprowadzają do wpływu uwalnianego przez nie z tkanek CO_2.

Swoiste działanie CO_2 na oddychanie w świetle badań nad toksycznością wpływu tego związku na protoplazmę pierwotniaków oraz zdolnością szybszej w porównaniu z innemi kwasami dyfuzji niezdysocjowanego CO_2 przez błony komórkowe (*Jacobs*[2], *Gell-*

---

[1] *Laqueur, F.* u. *Verzar, F.:* Pflüg. Arch. 143 (395). 1911.
[2] *Jacobs, M.:* Amer. Journ. of Physiol. 53 (457). 1920.

horn [1]) skierowało uwagę na możliwość występowania zmian odczynu wewnątrzkomórkowego niezależnie od stanu pH krwi i płynów ustrojowych.

Zwrot w zapatrywaniu na rolę pH krwi w regulacji oddychania nasunęły spostrzeżenia przypadków występowania hyperpnoe w różnych stanach organizmu w warunkach przesunięcia reakcji krwi w kierunku zasadowości. *Haggard* i *Henderson* [2], jak również *Haldane, Kellas* i *Kennaway* [3] zanotowali stany hyperpnoe podczas pobytu w górach w warunkach wydalania znaczniejszych ilości CO_2 z płuc i skłonności do względnej alkalozy z towarzyszącem kompensacyjnem zwiększeniem ilości zasad wydalanych przez nerki. Powyższy stan alkalozy, połączonej jednak z trwającem dalej wzmożeniem wentylacji płuc, był jednym z powodów wysunięcia przez *Haggard'a* i *Henderson'a* hipotezy, że w regulacji oddychania w warunkach niedotleniania krwi bierze udział „unknown anoxemic respiratory stimulant" — czynnik nieznanej natury, podnoszący napięcie ośrodka oddechowego.

Wyżej wspomniana zdolność dyfuzyjna CO_2 oraz wybitny wpływ tonizujący tego gazu na ośrodek oddechowy (*Hess* [4], *Gesell* [5]), jak również wykazanie nagromadzania się w elementach nerwowych kwaśnych przetworów przemiany (*Winterstein* i *Gollwitzer-Meier* [6]) wprowadzają w przyjętych dotąd poglądach na regulację oddychania nowe zapatrywania. Pobudziły je nadto obserwacje, że wzrost zawartości kwasu mlekowego w warunkach niedotleniania krwi jest największy w rdzeniu przedłużonym, w porównaniu z innemi częściami układu nerwowego (*Kleinschmidt, Haldi, Ward* i *Woo* [7]). Na czołowe miejsce wysuwa się oraz uzyskuje wiele przekonywujących dowodów centrogenna teorja *Winterstein'a*, rozbudowana przez *Gesell'a*, w myśl której podstawą regulacji ośrodka oddechowego są nie zmiany pH środowiska zewnętrznego (krwi i płynu śródtkankowego), lecz — pH wewnętrznego środowiska komórek nerwowych.

Zapomocą metody ciągłej rejestracji pH krwi zwierząt żyjących *Gesell* stwierdził brak bezwzględnej zależności przyczynowej pomiędzy kwasotą krwi a wielkością wentylacji płuc. Przeciwnie, stan pH krwi raczej może być zależny od wentylacji płuc. Wzmożenie oddychania w warunkach względnej alkalozy (gazowej) należy tłumaczyć tem, że ośrodek oddechowy posiada własną regulację kwasowo-zasadową. Szybkość tworzenia się kwasów, a szczegól-

---

[1] *Gellhorn, E.* cyt. w/g *Rubinstein D.:* Fizyko-chimiczeskije osnowy biologii. 1932.
[2] *Haggard, H.* a. *Henderson, J.:* Journ. of biol. Chem. 53 (2). 1920.
[3] *Haldane, J., Kellas* a. *Kennaway:* Journ. of Physiol. 53 (181). 1919—20.
[4] *Hess, W.:* Die Regulierung der Atmung. 1931.
[5] *Gesell, R.:* Ergebn. d. Physiol. 28. 1929.
[6] *Gollwitzer - Meier, K.* u. *Winterstein:*
[7] *Haldi* i współpr.: Amer. Journ. Physiol. 83 (250). 1927.

nie kwasu mlekowego w neuronach oraz szybkość wydalania tych kwasów z ośrodka, łącznie z funkcjonowaniem jego aparatu buforowego — określają kwasowość ośrodka oddechowego *(Gesell* i współpr. [1], [2]).

Stan komórek ośrodka, ulegając wpływom odbywających się w nich procesów oksydacyjnych, czule reaguje na wszystkie zmiany prężności tlenu we krwi tętniczej. Upatrując w zmianach pH wewnątrzkomórkowego bezpośrednie następstwa zaopatrzenia w tlen środowiska neronów, *Gesell* nawiązuje tą drogą swoją teorję do dawnych poglądów *Pflüger'a* [3], *Rosenthal'a* [4], jak również *Loevenhart'a* [5], że czynność ośrodka może być tonizowana bezpośrednio brakiem tlenu. Z rolą gospodarki kwasowo-zasadowej ośrodka, jako kierowniczego czynnika jego aktywności, wiążą się zatem skojarzone procesy zaopatrzenia komórek w tlen oraz wydalania z nich dwutlenku węgla. Wynika stąd, że centrogenna regulacja ośrodka oddechowego, nie będąc jednak mechanizmem bezwzględnie autonomicznym, zależna jest w dużym stopniu od szeregu skorelowanych czynników regulacji hematogennej, a w pierwszym rzędzie od ciśnienia tlenu i dwutlenku węgla w pęcherzykach płucnych, jak również natężenia oksydacyj tkankowych.

Próbą podejścia do wyświetlenia mechanizmu działania rytmicznej aktywności ośrodka oddechowego, zależnej od prężności CO_2 i O_2 w płynie omywającym ośrodek, są doświadczenia *Adrian'a i Buytendijk'a* [6] nad zmianami potencjału elektrycznego izolowanego mózgowia ryb. Autorzy ci zanotowali zgodność wahań potencjału pnia mózgowego z ruchami oddechowemi skrzeli. Określając warunki fizyko-chemiczne w neuronach jako występowanie stanu rytmicznej nierównowagi, bardzo łatwo ulegającej synchronizacji z rytmem fal potencjału nerwu błędnego, *Adrian* i *Buytendijk* wnioskują, że tlen jest niezbędny do przywracania stanu polaryzacji neuronów, ulegających depolaryzacji podczas okresowych wyładowań ich impulsów.

O ile całokształt dotychczasowych danych dostarcza mniej lub więcej zadawalniających dowodów centrogennej regulacji automatycznej czynności ośrodka oddechowego, o tyle jednak ustalenie natury izolowanego bodźca (jony H), aktywującego ośrodek, nie wyczerpuje zagadnienia rytmiki oddechowej, stanowiącej, prawdopodobnie, wynik współdziałania szeregu czynników *(Henderson* [7]).

Centrogenna tonizacja ośrodka oddechowego, będąc zasadniczem podłożem jego autonomicznej czynności, nie tłumaczy zatem całego mechanizmu regulacji oddychania. Zmiany rytmu i głębokości oddechów podczas snu, jak również pod wpływem bodźców psychicznych wskazują na istnienie funkcjonalnej zależności pomiędzy ośrodkami oddechowemi rdzenia przedłużonego a ośrodkami

---

[1] *Gesell, R.:* Amer. Journ. of Physiol. 82. 1927.
[2] *Gesell* i współp. Amer. Journ. of Physiol. 94. 1930.
[3] *Pflüger, E.:* loc. cit.
[4] *Rosenthal, J.:* loc. cit.
[5] *Loevenhart:* Pflüg. Arch. 150 (379). 1913.
[6] *Adrian, E.* a. *Buytendijk, F.* cyt. w/g *Adrian, E.:* The Mechanism of Nervous Action. 1932.
[7] *Henderson, J.:* Blood. Yale Univers. Press. 1928.

korowemi i podkorowemi. W zespole koordynacyjnych mechanizmów adaptacji oddychania do zmiennych warunków fizjologicznych współdziałają nadto obwodowe wpływy natury odruchowej. Punktem wyjścia tych odruchów mogą być różnorodne okolice powierzchni recepcyjnej, jak również zakończenia nerwowe w narządach wewnętrznych. Np. pobudzenie nerwu trzewiowego hamuje oddychanie na szczycie wdechu, ograniczając tą drogą nadmierny ucisk przepony na trzewia. Działanie pobudzające lub hamujące oddychanie wywierane jest w następstwie impulsów, dochodzących do ośrodków za pośrednictwem czuciowych nerwów samego aparatu oddechowego.

Znaczenie regulacji neurogennej ujawnia się w całej pełni na przykładzie zakłócenia zdolności adaptacji wentylacji płuc do wzmożonych potrzeb oddechowych po wagotomji. Przecięcie nerwów błędnych wytwarza zakłócenie koordynacji czynności przepony i mięśni klatki piersiowej. Znosi się przytem odruchowe samosternictwo rytmiki oddechowej, które według *Hering'a* i *Breyer'a*[1] odbywa się za pośrednictwem dośrodkowych włókien nerwów błędnych, których pobudzenie przy wdechowem rozszerzeniu płuc powoduje zahamowanie wdechu i odwrotnie — wydechowe zapadanie się płuc wytwarza impuls do nowego wdechu. Płuca są zatem punktem wyjścia odruchów oddechowych proprioceptywnych, wywoływanych rytmicznem pobudzeniem dośrodkowych włókien nerwów błędnych przez podniety mechaniczne, jak również znaczniejsze zmiany składu powietrza oddechowego *(Pi Suner*[2], *Rijalant*[3]*)*.

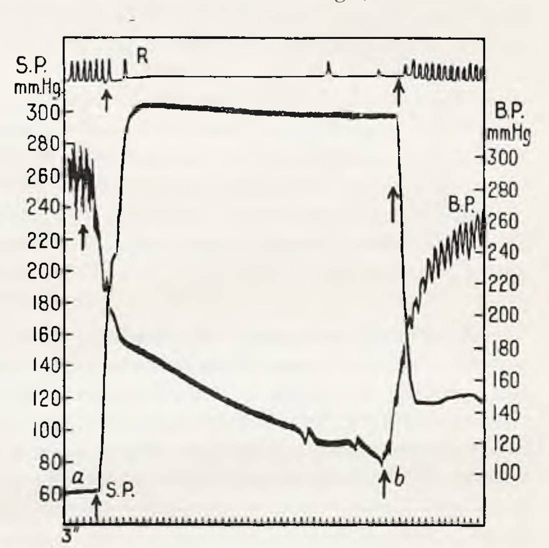
Mechanizm odruchu z płucnych gałązek nerwów błędnych nasuwa przypuszczenie istnienia w nich 2 rodzajów włókien dośrodkowych: włókien hamujących wdech, pobudzanych rozszerzeniem płuc, oraz włókien hamujących wydech, tonizowanych podczas zapadania się płuc *(Rijalant*[3], *Hammuda* i *Wilson*[4]*)*. Możliwość podwójnego efektu pobudzania nerwów błędnych nie jest jednak przyjmowana bez zastrzeżeń przez wszystkich badaczy. Nie znajdując potwierdzenia istnienia odruchu wydechowego pochodzenia płucnego, niektórzy z nich tłumaczą działanie nerwów błędnych zmianami utrzymywanego przez te ostatnie zasadniczego tonusu ośrodków oddechowych *(Lewandowsky*[5], *Hess*[6], *Danielopolu, Marcou* i *Proca*[7]*)*. Stałe pobudzenie dośrodkowych włókien nerwów błędnych, utrzymywane średnim stanem rozciągnięcia pęcherzyków płucnych (ku końcowi wydechu) ulega wyłącznie wpływom wdecho-

---

[1] *Hering* i *Beuer* cyt. w/g *Haldane J.:* Respiration. 1927.
[2] *Pi Suner B.:* Amer. Journ. of Physiol. 90 (473). 1929.
[3] *Rijalant, P.:* Arch. Int. Physiol. 35 (326). 1932.
[4] *Hammuda, M.* a. *Wilson, W.:* Journ. of Physiol. 83. (292). 1935.
[5] *Lewandowsky, M.* cyt. w/g. *Heymans, C.:* Traité de Physiol. norm. et path. 5 (351). 1934.
[6] *Hess, W.:* loc. cit.
[7] *Danielopolu, D., Marcou, J.* et *Proca, G.:* Journ. de Phys. et Pathol. Génér. 30 (632). 1932.

wego rozszerzenia płuc, które jest właściwym bodźcem odruchowego zahamowania wdechowej tonizacji ośrodka oddechowego.

Mechaniczne pobudzenie nerwów błędnych, stanowiące zasadniczy rodzaj obwodowej regulacji ośrodka oddechowego oraz posiadającego duże znaczenie dla ekonomiki czynności oddychania, nie jest jednak czynnikiem odruchowym wyłącznym. Aktywność ośrodka ulega nadto wpływom odruchowym ze strony nerwów okolicy sercowo-aortalnej (nerw Cyon-Ludwig'a) oraz nerwów zatoki szyjnej (n. Hering'a). Odruchowe wpływy, wywierane przez powyższe pola recepcyjne, odznaczają się naogół analogicznym efektem *(Heymans* [1], *Danielopolu, Marcou* i *Proca* [2], *Hering* [3]*).*



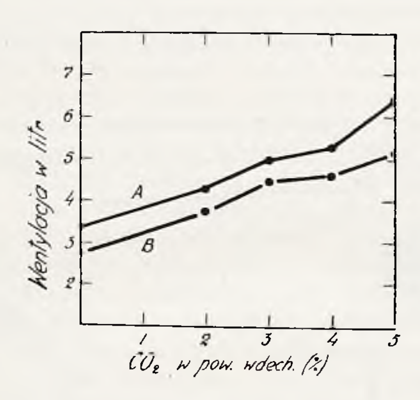
Rys. 42. Zmiany ciśnienia krwi a oddychanie (u psa). U góry: ruchy oddechowe (R.), krzywa środkowa (B. P.) — ciśnienie tętnicze ogólne. Krzywa dolna (S. P.) — ciśnienie w izolowanym sinus caroticus o zachowanem unerwieniu. Od a do b — wzrost ciśnienia w sinus caroticus, w następstwie czego — odruchowy spadek ciśnienia tętniczego ogólnego i odruchowy stan apnoe. (Bouckaert i Heymans).

Pobudzenie mechaniczne nerwu zatoki szyjnej, posiadającego obwodowe zakończenia w ścianie podziału tętnicy szyjnej oraz w ganglion caroticum, łączy się obok spadku ciśnienia tętniczego i zwolnienia akcji serca, z występowaniem odruchowych zmian oddychania (hyperpnoe). Zmiany oddychania i krążenia, które wywoływane są zaciśnięciem tętnic szyjnych, nie są, jak stwierdzono wyłącznem następstwem zmian krążenia mózgowego, lecz przedewszystkiem wywierane są wpływami zmian ciśnienia w samych tętnicach szyjnych *(Heymans, Bouckaert* i *Dautrebande* [4]*).* Spadek ciśnienia w zatokach szyjnych wywołuje stan odruchowego hyperpnoe, trwający jakiś czas pomimo wzmożenia zasadowości krwi w rezultacie zmniejszenia po hyperwentylacji zawartości we krwi CO_2 oraz pomimo wzmożenia krążenia mózgowego. Hyperpnoe po-

[1] *Cordier, D.* et *Heymans, C.:* Ann. de Physiol. 11 (535). 1935.
[2] *Danielopolu, Marcou* i *Proca:* loc. cit.
[3] *Hering* cyt. w/g *Cordier* i *Heymans:* loc. cit.
[4] *Heymans, C., Bouckaert, J.* u. *Dautrebande, L.:* Pflüg. Arch. 230 (283). 1932.

chodzenia odruchowego trwa zatem w warunkach współdziałania czynników, wpływających hamująco na działanie ośrodka.

Odwrotnie, przy wywoływaniu w sinus caroticus zjawisk hypertensji wytwarza się zahamowanie oddychania aż do stanu bezdechu, nawet wtedy, gdy zwierzę jest w stanie asfiksji. Zahamowanie oddychania trwa przytem przez pewien czas w warunkach wzrostu zawartości we krwi CO_2 i zmniejszenia ukrwienia ośrodków mózgowych — a więc czynników pobudzających ośrodek oddechowy.



Rys. 43. Wpływ zawartości CO_2 w powietrzu wdechowem na wentylację płuc u zwierzęcia z normalnem unerwieniem sinus caroticus (A) oraz po odnerwieniu sinus caroticus (B), zmiany wentylacji są mniej zaznaczone (Wright).

Zjawiska powyższe sprowadzają się ostatecznie do następstw wahań ciśnienia wewnątrzzatokowego, prowadzących do zmian tonusa nerwu *Hering'a* z odruchowym wpływem na ośrodek oddechowy. Odnerwienie zatoki szyjnej znosi występowanie odruchowego hyperpnoe przy zaciśnięciu tętnic szyjnych (*Danielopolu*, *Marcou* i *Proca*[1]). Przedstawione fakty wskazują na istnienie daleko idącej korelacji funkcjonalnej pomiędzy warunkami krążenia krwi mózgowego i obwodowego a regulacją oddychania. Zmiany ciśnienia tętniczego w obrębie krążenia mózgowego regulują oddech za pośrednictwem bardzo wrażliwych na bodźce ciśnienia hemodynamicznego pól recepcyjnych w sinus caroticus.

Prócz wrażliwości na lokalne zmiany ciśnienia omawiane pola recepcyjne są wrażliwe również na bodźce natury chemicznej. Przepuszczenie przez izolowany sinus caroticus krwi o dużej zawartości CO_2 pobudza ośrodek oddechowy, zaś krwi ubogiej w CO_2 powoduje przeciwnie wpływ hamujący. Według *Heymans'a*[2] i współpracowników, regulujący wpływ CO_2 i anoksemji na ośrodek oddechowy odbywa się zasadniczo przy udziale odruchowego mechanizmu sinus caroticus i okolicy sercowo-aortalnej. *Beyne*, *Gautrelet* i *Halpern*[3] opisują zanikanie adaptacyjnego hyperpnoe przy niskiem ciśnieniu barometrycznem u zwierząt, pozbawionych sinus caroticus.

---

[1] *Danielopolu, D., Marcou, J.* et. *Proca, G.:* loc. cit.
[2] *Heymans, C.:* loc. cit.
[3] *Beyne, J., Gautrelet, J.* et *Halpern, N.:* C. R. Soc. Biol. 113 (583). 1933.

Pomimo obfitego materjału, podnoszącego znaczenie odruchów naczyniowych dla regulacji chemicznej oddychania, bezpośrednia wrażliwość ośrodków oddechowych na bodźce chemiczne wydaje się jednak pozostawać czynnikiem dominującym (*Gollwitzer - Meier* i *Schulte*[1]). Przypuszczenie wyższej w porównaniu z ośrodkiem oddechowym wrażliwości pól recepcyjnych naczyniowych na bodźce chemiczne zostało zachwiane, między innemi, przez wyniki doświadczeń *Schmidta* i *Thompson'a*[2]), wykazujących, że CO_2 pobudza ośrodek oddechowy bezpośrednio, nie zaś poprzez sinus caroticus. Możliwość bezpośredniego pobudzenia ośrodka, bez udziału nerwu zatoki szyjnej, przez niedostateczne ukrwienie mózgu pochodzenia naczynioruchowego po wprowadzeniu n/10 roztworów kwasu lub ługu do tętnicy szyjnej, wynika również z doświadczeń *Britwan'a* i *Mutchnik'a*[3].

Nie ograniczając się do opisanych oraz bliżej zbadanych mechanizmów odruchowych, regulacja czynności ośrodków oddechowych może ulegać wpływom hamującym lub pobudzającym z różnych odcinków powierzchni recepcyjnej. Punktem wyjścia dla odruchów oddechowych mogą być mięśnie i stawy klatki piersiowej, obfite unerwienie autonomiczne przepony i mięśni oskrzelowych, błona śluzowa dróg oddechowych a nawet narządy recepcyjne z poza obrębu aparatu oddechowego.

Jednym z przykładów interwencji powyższych wpływów odruchowych jest synchronizacja oddychania z rytmiką ruchów różnych form czynności układu ruchowego (*Gesell* i *Moyer*[4]). Posiadając duże znaczenie dla ukształtowania się każdorazowego stanu wentylacji płuc, skomplikowany mechanizm regulacji odruchowej współdziała w całokształcie zjawisk adaptacji automatyzmu oddychania do warunków fizjologicznych.

Zmiany pobudliwości ośrodka oddechowego.

Aktywność ośrodka oddechowego, regulowana działaniem specyficznych bodźców, jest uzależniona nadto od stanu wrażliwości ośrodka. Przykładem wyraźnych odchyleń pobudliwości ośrodka oddechowego, występujących przy zasadniczych zmianach czynnościowego napięcia ustroju jako całości, jest nastawienie oddychania, towarzyszące stanom czuwania i snu. W czasie ostatniego stwierdza się, jako regułę, wzrost ciśnienia dwutlenku węgla w pęcherzykach płucnych (*Endres*[5], *Rabinowitsch*[6]), a co za tem idzie, wzrost stężenia jonów wodorowych we krwi. Pomimo tego wentylacja płuc

---

[1] *Gollwitzer-Meier, K.* u. *Schulte, H.:* Pflüg. Arch. 229 (251). 1932.
[2] *Schmidt, C.* a. *Thompson, S.:* Amer. Journ. of Physiol. 102 (94). 1932.
[3] *Britwan, J.* i *Mutchnik, S.:* Fizjolog. Żurn. (U.S.S.R.) 18 (532). 1935.
[4] *Gesell, R.* a. *Moyer, C.:* Quart. Journ. of exp. Physiol. 25. 1935.
[5] *Endres*, cyt. w/g. *Cordier* et *Heymans:* Ann. de Physiol. 11 (615). 1935.
[6] *Rabinowitsch, I.:* Zschr. exper. Med. 66 (284). 1929.

ulega przytem, podobnie jak i podczas śpiączki zimowej u zwierząt, wyraźnej redukcji. Ośrodek oddechowy okazuje zatem w tych stanach obniżenie normalnej pobudliwości na zmiany równowagi zasadowo-kwasowej we krwi.

Innemu przestrojeniu ulega wrażliwość ośrodka oddechowego w stanach pobudzenia czynnościowego całokształtu funkcyj fizjologicznych, a więc podczas pracy. Wzmożenie wentylacji płuc na początku pracy mięśniowej nie może być bynajmniej wytłumaczone następstwem zakwaszenia krwi (*Barr*[1]). Przeciwnie, dalsze trwanie hyperpnoe początkowego okresu pracy łączy się ze wzmagającem się wypłukiwaniem ze krwi CO_2 oraz obniżeniem koncentracji jonów H. Przeniesienie głównego punktu ciężkości na zachwianie izojonji krwi nie dostarcza zadawalniającego uzasadnienia do wytłumaczenia początkowego hyperpnoe, który to stan powstaje już na samym początku pracy, niewytwarzającej jeszcze warunków do podniesienia koncentracji jonów H. Przeciwnie, stan hyperpnoe, powodujący, równolegle do wydalania CO_2, zwiększenie rozporządzalnych zasad, łączy się z wyraźną skłonnością do alkalozy (gazowej).

Mechanizm wzrostu wentylacji płuc początkowych okresów pracy może wiązać się, poza innemi czynnikami, z odruchowem pobudzeniem ośrodków oddechowych za pośrednictwem podniet, wychodzących z mięśni lub stawów czynnych (*Cordier* i *Heymans*[2], *Harrison* i współpr.[3]). Szczególne znaczenie odruchów proprioceptywnych w wytworzeniu wzmożonego oddychania zaznacza się podczas pracy biernej.

W zmianach pobudliwości ośrodków oddechowych dużą rolę wydają się odgrywać impulsy korowe. Hyperpnoe, w warunkach obniżenia ciśnienia CO_2 pęcherzykowego na początku pracy, tłumaczą *Krogh* i *Lindhard*[4] oraz *Mettenleiter*[5] wytworzeniem nadwrażliwości ośrodków oddechowych, która powstaje naskutek irradacji impulsów motorycznych wyższych ośrodków nerwowych, równolegle z przesyłaniem bodźców z kory mózgowej do mięśni szkieletowych. Pobudliwość ośrodków oddechowych silnie wzrasta przy zbliżeniu się intensywności wysiłku do granicy maksymalnej wydolności osobnika (*Lindhard*[6], *Hansen*[7]).

Za neurogenicznem podłożem opisywanych zmian przemawia również szybkość występowania oraz skoordynowanie ich z przyśpieszeniem rytmu i wzmożeniem wyrzutu serca.

Zależność regulacji funkcyj wegetatywnych podczas pracy od impulsów korowych uwidacznia się między innemi, w charaktery-

---

[1] *Barr, D.:* Journ. of. biol. Chem. 56 (171). 1923.
[2] *Cordier* et *Heymans:* loc. cit.
[3] *Harrison, W, Calhoun, A.* a. *Harrison, T.:* Amer. Journ. Physiol. 100 (68). 1932.
[4] *Krogh, A.* u. *Lindhard, J.:* Journ. of Physiol. 44 (112). 1913—14.
[5] *Mettenleiter:* Dtsch. Arch. f. klin. Med. 117 (517). 1914.
[6] *Lindhard, J.:* Journ. of Physiol. 42 (337). 1911.
[7] *Hansen, E.:* Skand. Arch. f. Physiol. 54 (50). 1928.

stycznych zmianach biochemizmu krwi i przemiany oddechowej przy hypnosugestji. Stany hypnotyczne, według szkoły *Pawłow'a*, można rozpatrywać jako zjawiska rozlanego hamowania czynności sfery korowej, a częściowo podkorowej, przy pozostawieniu ograniczonego tylko odcinka korowego do recepcji oddziaływań ze strony określonego osobnika (hypnotyzera). Stany te pozwalają na eksperymentalne ustalenie bardziej izolowanych wpływów korowych na czynności wegetatywne, po wyłączeniu modyfikującego efektu procesów świadomościowych.

Sugestja lekkości pracy, stanowiącej w rzeczywistości wysiłek maksymalny, dokonywany przez badanego osobnika w stanie znacznego znużenia po poprzedniej pracy, podnosi w doświadczeniach *Wasilewsky'ego* i *Kagan'a* [1] wydajność oraz obniża zużycie tlenu do 20%. Zasugerowanie, że badany żadnej pracy wogóle nie dokonywał, powoduje bezpośrednio po istotnie przeprowadzonej pracy zwolnienie tętna oraz spadek zużycia tlenu nawet do poziomu spoczynkowego, pomimo wytworzenia się zadłużenia tlenowego, odpowiadającego potrzebom oksydacyjnych procesów wypoczynkowych.

Wpływ korowych impulsów, wywoływanych omawianą metodą hypnosugestji niezawsze zatem pokrywa się z regulacją humoralno-chemiczną wegetatywnych procesów pracy. Może posiadać nawet kierunek wręcz przeciwny, jak np. przy obniżeniu natężenia funkcyj wymiany gazowej i krążenia krwi do poziomu normalnego w następstwie sugestji spoczynku ciała, podczas zwiększonej koncentracji kwasu mlekowego we krwi po dokonanej uprzednio pracy.

Bogactwo odcieni reakcji adaptacyjnej indywidualnej do warunków pracy oraz zjawiska, odbiegające niejednokrotnie od oczekiwanego efektu wysiłku fizycznego, są więc następstwem każdorazowego stanu interferencji całego szeregu czynników regulacyjnych nerwowych i humoralno-chemicznych.

Tą drogą spadek zawartości CO_2 w przestrzeni pęcherzykowej oraz wzrost wrażliwości ośrodka oddechowego, analogiczny do występującego podczas pracy mięśniowej, mogą towarzyszyć stanom silnego pobudzenia psychicznego. Powyższe stany zanotowano jako charakterystyczny przejaw zjawisk adaptacyjnych, rozwijających się podczas pobytu w górach *(Hasselbalch* i *Lindhard* [2]).

O ile stan nadwrażliwości ośrodka oddechowego może być, przypuszczalnie, decydującym czynnikiem w genezie hiperwentylacji na początku pracy, o tyle przy dalszem trwaniu wzmożonego oddechu decydującą rolę w pobudzeniu ośrodka odgrywa zjawienie się we krwi podczas intensywnej pracy kwaśnych przetworów niezupełne-

---

[1] *Wasilewsky, W.* i *Kagan, E.:* Fizjolog. Żurn. 14 (799). 1935.
[2] *Hasselbalch, K.* a. *Lindhard, J.:* Biochem. Zschr. 68 (2913). 1915.

go spalania. Należy sądzić pozatem, że zmiany wrażliwości ośrodka oddechowego pozostają w związku ze zmianami regulacji układu nerwowego autonomicznego, jak również ulegają wpływom układu hormonalnego, którego czynność okazuje podczas pracy, analogicznie do innych funkcyj, zmiany adaptacyjne. Określenie zmian wentylacji przy różnej zawartości CO_2 w powietrzu wdechowem oraz uwzględnieniu własności buforowej krwi *(Endres*[1]*)* ujawniło stałość indywidualnej pobudliwości ośrodka w stosunku do jonów H. Pobudliwość ta ulega wahaniom sezonowym (ciśnienie CO_2 w pęcherzykach w zimie jest wyższe, aniżeli w lecie) oraz jest zależna od warunków fizjologicznych, np. zmniejsza się podczas snu, po przyjęciu posiłku *(Higgins*[2]*)*, zwiększa się podczas pracy, pobytu w górach, w ciąży *(Bernhard*[3]*)*. *Endres*[1] oraz *Gollwitzer-Meier*[4] uzależniają zmiany progu pobudliwości ośrodka na jony H od odchyleń w izojonji elektrolitów we krwi. Wzrost zasadowości krwi łączy się ze zmianami stężenia jonów Ca i K (zwiększone jest przytem stężenie jonów K i zmniejszone stężenie jonów Ca) oraz współrzędny jest z podniesieniem pobudliwości ośrodka na jony H. Stąd też — wzmożona wentylacja płuc oraz obniżenie prężności CO_2 we krwi. Odwrotny skutek okazuje zwiększenie stężenia we krwi jonów Ca. Sole wapnia, podobnie jak i magnezu, obniżają normalną pobudliwość ośrodka oddechowego, w rezultacie czego zmniejsza się wentylacja płuc, wzrasta prężność CO_2 we krwi oraz oddziaływanie jej przesuwa się w kierunku kwasoty. Naogół więc wahania pobudliwości zależne są od wielkości ilorazu: $\frac{[HPO''_4 + H_2PO'_4]\ [K^{\cdot}]}{[Ca^{\cdot\cdot}]\ [Mg^{\cdot\cdot}]}$

Pobudliwość ośrodka wzmaga się ze wzrostem ilorazu oraz obniża się przy jego zmniejszeniu *(Gollwitzer-Meier*[4]*)*.

Tą drogą np. obniżenie ilorazu równowagi jonowej we krwi naskutek wzrostu zawartości Ca i redukcji jonów fosforanowych po forsownej pracy łączy się ze zmniejszeniem pobudliwości ośrodka oddechowego w okresie wypoczynku *(Ewig* i *Wiener*[5]*)*. Wentylacja płuc wraca przytem do swej normy po 15—20 m, wtenczas gdy pH krwi pozostaje jeszcze dłuższy czas obniżone (1—2 godz).

Według *Winterstein'a*[6], zmiany pobudliwości ośrodka oddechowego uwarunkowane są wpływami natury centrogennej (stanu odżywiania ośrodka) oraz hematogennej (skład krwi dopływającej do

---

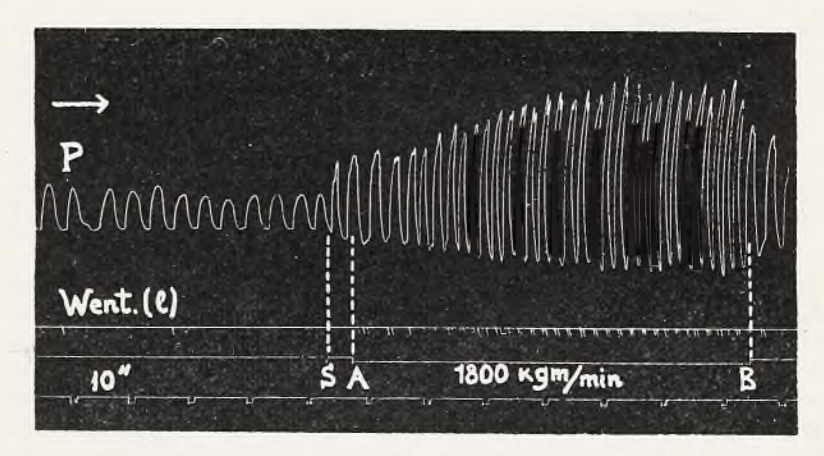
[1] *Endres,* cyt. w/g. *Cordier et Heymans:* Ann. de Physiol. 11 (615). 1935.
[2] *Higgins:* Amer. Journ. of Physiol. 34 (114). 1914.
[3] *Bernard:* Biochem. Zschr. 136 (78). 1923.
[4] *Gollwitzer-Meier, K.:* Biochem. Zschr. 151 (54). 1924.
[5] *Ewig, E.* u. *Wiener, R.:* Zschr. exp. Med. 61 (562). 1928.
[6] *Winterstein:* loc. cit.

ośrodka). *Henderson* i *Radloff*[1] opisują obniżenie wrażliwości ośrodka pod wpływem daleko posuniętego niedotleniania. W rzędzie czynników, pozostających nie bez znaczenia dla wytwarzania stanu adaptacji wrażliwości ośrodka, należy wyróżnić ujawniające się niejednokrotnie, choć bliżej narazie nie wyjaśnione impulsy toniczne, pochodzące z ośrodków nerwowych śródmózgowia i międzymózgowia, które mogą współdziałać w regulacji aktualnego stężenia jonów H (*Regelsberger*[2]).

ADAPTACYJNE MECHANIZMY ODDYCHANIA PODCZAS PRACY.

Zmiany wentylacji płuc.

Przy przejściu ze stanu spoczynku ustroju do pracy, ostro występujący wzrost wentylacji płuc, wywołany mechanizmem neurogenicznym, może być znacznie spotęgowany w warunkach wzmożonych wpływów emocjonalnych (*Herxheimer* i *Kost*[3], *Berkowitsch* i *Simonson*[4]). Współdziałanie stanów psychicznych ujawnia się niejednokrotnie nawet przed rozpoczęciem pracy. Wpływy powyższe są szczególnie zaznaczone u osobników o słabej odporności emocjonalnej, jak również w warunkach współzawodnictwa.



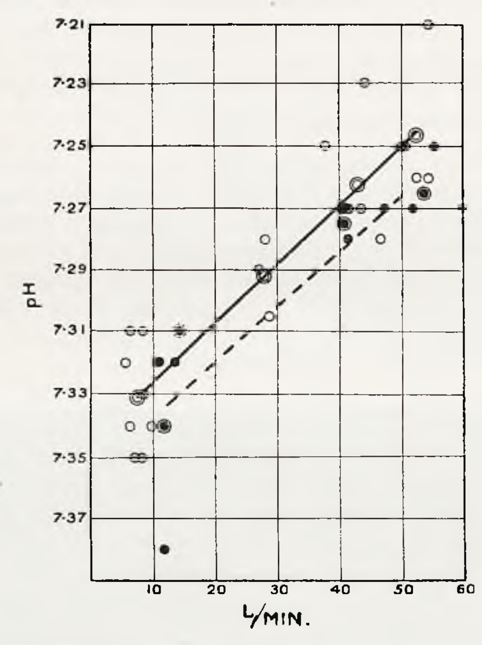
Rys. 44. Rytm oddechowy (P) i wentylacja płuc przy przejściu od stanu spoczynku do pracy (1800 kgm/min). W punkcie S — sygnał uprzedzenia o początku pracy. Punkt A — początek pracy. Punkt B — koniec pracy. Wentylacja płuc w spoczynku 6 l/min, podczas pracy 48 l/min (Missiuro).

W chwili rozpoczęcia pracy wzrasta wentylacja płuc w stopniu przekraczającym niekiedy istotne wymagania zaopatrzenia tlenowego. Dopiero po owej krótkotrwałej fazie mniej lub więcej wy-

---

[1] *Henderson J.* a. *Radloff:* Amer. Journ. of Physiol. 101 (647). 1932.
[2] *Regelsberger* cyt. w/g *Müller:* Lebensnerven und Lebenstriebe 1931.
[3] *Herxheimer, H.* u. *Kost, R.:* Ztschr. klin. Med. 108 (240). 1928.
[4] *Berkowitsch, E.* u. *Simonson, E.:* Arbeitsphys. 8 (550). 1934-35.

raźnych wahań *(Krogh i Lindhard* [1]*)*, wielkość wentylacji osiąga poziom stały, przy warunku niezmienności natężenia pracy. Początkowe wahania wentylacji, z częstym wzrostem powyżej wielkości jej podczas głównego okresu pracy, należy tłumaczyć opóźnieniem koordynacji czynności fizjologicznych, która decyduje o adaptacji do warunków pracy.



Rys. 45. Wentylacja płuc a pH krwi. Dane doświadczeń na 2-ch osobnikach (w/g Arborelius i Liljestrand).

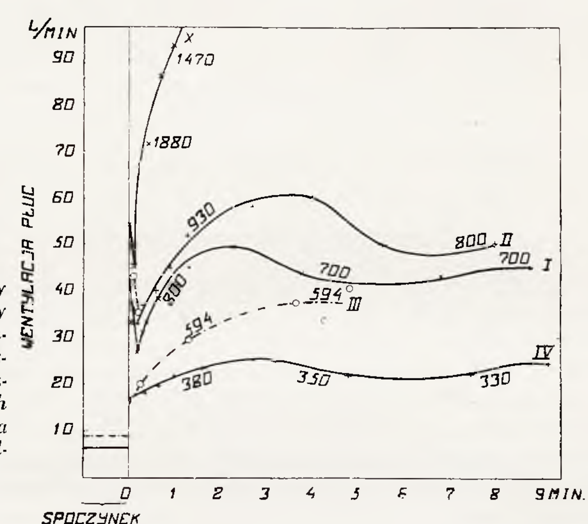
Szybkość reakcji oddychania, wyrażająca się w jednem z badań *Krogh'a* i *Lindhard'a* we wzroście wentylacji w 10 sek po rozpoczęciu pracy z 10 l/min stanu spoczynkowego do 48 l/min, może znaleźć wytłumaczenie wyłącznie w mechanizmie odruchowym. Dopiero przy dalszem trwaniu pracy, w okresie ustalania się właściwego poziomu hyperpnoe, do regulacji neurogennej, modyfikującej stan pobudliwości ośrodków oddechowych, dołączają się wpływy natury humoralnej. Wśród tych ostatnich na czołowe miejsce wysuwają się odchylenia równowagi zasadowo-kwasowej we krwi, tem wyraźniejsze, im większe jest natężenie pracy. Pomimo bardzo nieznacznych zmian pH, wytwarzających się z chwilą rozpoczęcia dyfuzji kwasu mlekowego do krwi, są one wystarczające do wywołania i utrzymywania zwiększonej wentylacji.

Poza zmianami równowagi zasadowo-kwasowej w ustroju, jednym z czynników, współdziałających w wytwarzaniu hyperpnoe, jest podniesienie ciepłoty ciała, towarzyszące pracy mięśniowej. Należy sądzić, że prócz wzmożenia przemiany, dochodzącego przeciet-

[1] *Krogh, A.* u. *Lindhard, J.:* Journ. of Physiol. 47 (112). 1913.

nie do 10% na 1° C wzrostu ciepłoty ciała *(Christensen* [1]*)*, zmiany termoregulacji ustroju pracującego wpływają na równowagę fizyko-chemiczną w samych ośrodkach oddechowych, wzmagając ich aktywność *(Bainbridge* [2]).

Czas ustalania poziomu wentylacji płuc trwa, zależnie od natężenia wysiłku od 1 — 4 min, a nawet dłużej podczas wysiłków intensywniejszych. Stopień zwiększenia wentylacji wzrasta z podniesieniem natężenia pracy (obciążenia i tempa). Stosunek 1:10 — wentylacji spoczynkowej do wielkości jej podczas ciężkiej pracy stanowi, przypuszczalnie, rozpiętość normalnych granic adaptacyjnego wzmożenia wentylacji, utrzymującej zadawalniający stan zaopatrzenia tlenowego.



Rys. 46. Zmiany wentylacji płuc przy przejściu od spoczynku do pracy o różnem natężeniu. Liczby przy krzywych oznaczają kgm na min. (Krogh i Lindhard).

Podczas wysiłków forsownych (przekraczających indywidualną granicę maksymalnej wydolności osobnika) wentylacja płuc może wzrastać, nie osiągając stałego poziomu.

Pomiędzy stopniem zużycia tlenu, przyjętego jako miarę natężenia wysiłku, a funkcją przewietrzania płuc istnieje daleko idąca współzależność. Zużycie tlenu podczas pracy do określonej granicy jej intensywności jest linijną funkcją objętości minutowej oddechu *(Hill* [3] i współpr., *Simonson* [4], *Hebestreit* [5], *Kaup* i *Grosse* [6]).

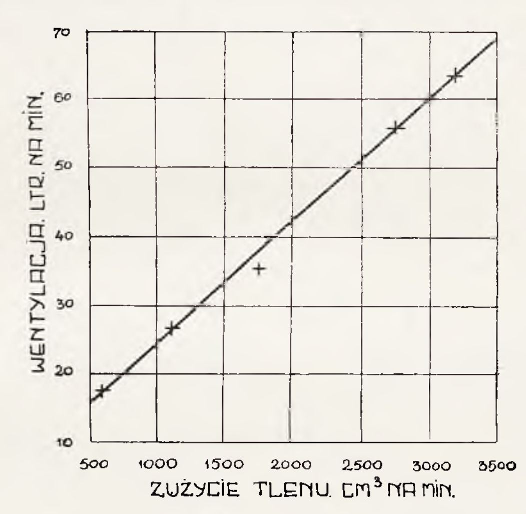
Równoległość zmian wentylacji płuc i zużycia tlenu stanowi regułę tylko podczas pracy umiarkowanej *(Boothby* [7], *Krogh* i *Lind-*

---

[1] *Christensen, H.:* Arbeitsphysiol. 4 (154). 1931, 7 (120). 1933.
[2] *Bainbridge, F.:* The physiology of muscular exercise. 1931.
[3] *Hill, A., Long, C.* a. *Lupton, H.:* Proc. Roy. Soc. B. 96, 97. 1924-25.
[4] *Simonson, E.:* Hndb. d. norm. u. pathol. Physiol. 15. 1/I. 1930.
[5] *Hebestreit, H.:* Pflüg. Arch. 222 (338). 1929.
[6] *Kaup, J.* u. *Grosse, A.:* Münch. med. Wschr. 74 (1353). 1927.
[7] *Boothby, W.:* Amer. Journ. of. Physiol. 37 (383). 1915.

hard [1], *Eppinger* [2] i współpr. i inn.), dokonywanej w warunkach niezmiennego tempa i obciążenia.

Powyższy przebieg zmian wentylacji płuc i zużycia tlenu zachowuje się w warunkach wzrostu natężenia pracy, któremu odpowiada zwiększenie zużycia tlenowego ponad 2.5 — 3 l/min. Wentylacja płuc do wskazanego poziomu wzmożenia przemiany oddechowej jest w większości przypadków linijną funkcją zarówno zużycia O_2, jak i wydalania CO_2. Iloraz oddechowy nie okazuje przytem znaczniejszych wahań, pozostając poniżej jedności.



Rys. 47. Zależność wielkości wentylacji płuc od intensywności pracy, wyrażonej w jednostkach zużycia tlenu (Bainbridge w/g Lindharda).

Równoległy przebieg wentylacji i zużycia tlenu podczas pracy umiarkowanej nasuwa bardzo ponętny wniosek dokonywania oceny natężenia tej ostatniej wyłącznem określeniem zmian wentylacji płuc.

Na możliwość przyjęcia danych wentylacji za podstawę oznaczeń natężenia wydatku energetycznego przy pracy umiarkowanej, a szczególnie podczas okresu wypoczynkowego, wskazują *Simonson* i *Hebestreit* [3], według których współczynnik korelacji pomiędzy zużyciem tlenu po pracy a powrotem wentylacji do stanu spoczynkowego dochodzi do 0.6.

Przy wysiłkach, przekraczających wydolność fizjologiczną osobnika, kiedy w ustroju następuje szybkie zwiększenie zawartości kwaśnych przetworów przemiany, w stosunku wzajemnej zależności wentylacji i zużycia tlenu występuje dysproporcja — wzrost wentylacji płuc zaczyna przewyższać natężenie funkcji pobierania tlenu *(Hill,*

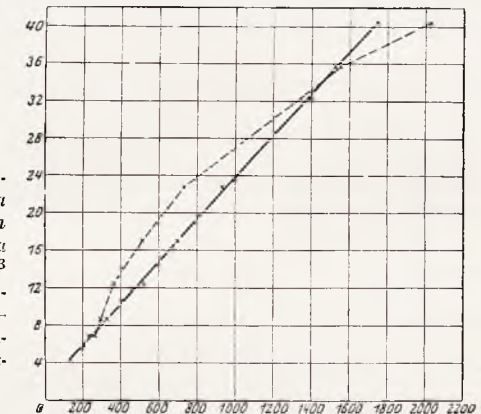
---

[1] *Krogh, A.* a. *Lindhard, J.:* loc. cit.

[2] *Eppinger, H., Kisch, F.* u. *Schwarz, H.:* Das Versagen des Kreislaufes. 1927.

[3] *Simonson, E.* u. *Hebestreit, H.:* Pflüg. Arch. 225 (498). 1930.

Long i *Lupton* [1], *Simonson* [2], *Hansen* [3]). Utrzymana zostaje wyłącznie proporcjonalność pomiędzy wentylacją a wydalaniem CO_2 (*Herxheimer* i *Kost* [4]). Ustrój dąży wtedy, według *Amar'a* [5], do osiągnięcia stanu równowagi funkcjonalnej z szybkością proporcjonalną do różnicy pomiędzy metabolizmem okresu pracy a spoczynku.



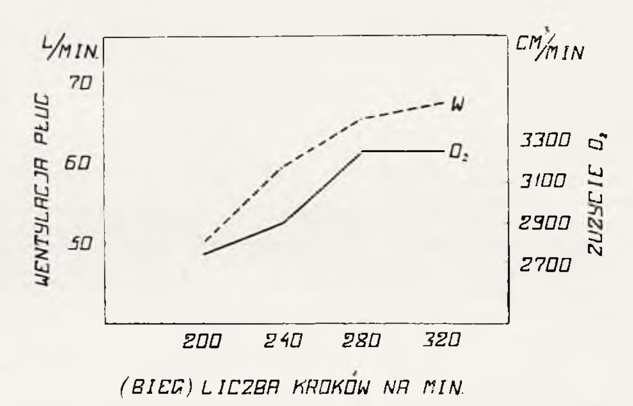
Rys. 48. Współzależność pomiędzy wentylacją płuc a zużyciem O_2 i wydalaniem CO_2. Rzędne — wentylacja w litrach, odcięte — cm^3 zużycia O_2, wzgl. wydalania CO_2. Linja ciągła — wydalanie CO_2, przerywana — zużycie O_2 (Herxheimer i Kost).

Rozchodzenie się krzywych wentylacji płuc i zużycia tlenu podczas wysiłków forsownych powoduje w tych warunkach spadek efektywności zaopatrzenia tlenowego, nienadążającego za wzrostem zapotrzebowań pracy. Obniżenie wydolności hyperwentylacji zakłóca coraz bardziej bilans procesów rozkładu i odnowy w tkankach czynnych, prowadząc do nagromadzenia kwasu mlekowego, zakwaszenia i zmniejszenia nasycenia tlenem krwi tętniczej. Następstwem tych zjawisk są coraz bardziej rozwijające się objawy dyspnoetyczne, kładące zazwyczaj kres dalszej pracy. Indywidualne różnice znużalności aparatu oddechowego odgrywają przytem dużą rolę. Podłożem stopniowego spadku wydolności fizycznej, poza niewystarczalnością zaopatrzenia tlenowego, może być również utrudnienie wydalania dwutlenku węgla (*Magne* [6], *Briggs* [7]). Obniżenie poziomu wentylacji płuc podczas pracy może być spowodowane przez inhalację tlenu. Oddychanie 50% i 45% tlenem (*Hill, Long, Lupton, Lindhard* [8], *Missiuro* i *Szulc* [9]) zwiększa wydajność pracy (trwającej od kilku do kilkunastu minut) prawdopodobnie przez redukcję kosztu energetycznego wentylacji oraz subjektywne uczucie ulżenia wysiłku.

---

[1] *Hill, A., Long., C.* a. *Lupton, H.:* loc. cit.
[2] *Simonson, E.:* loc. cit.
[3] *Hansen, E.:* Hndb. d. norm. u. pathol. Physiol. (Bethe). 15. 2/I. 1931.
[4] *Herxheimer, H.:* u. *Kost, R.:* Zschr. klin. Med. 108 (240). 1928.
[5] *Amar, J.:* C. R. de l'Acad. des Sc. 1920, 171, 1913.
[6] *Magne, H.:* Physiol. du Travail. Inst. Lannelongue. 1921.
[7] *Briggs, H.:* Journ. of Physiol. 54 (292). 1920—21.
[8] *Lindhard, J.:* loc. cit.
[9] *Missiuro, W.* i *Szulc, G.:* Przegl. Sport.-Lek. 2 (1). 1932.

Wzrost wentylacji płuc ponad określony poziom, odpowiadający natężeniu wysiłku, stanowi jeden z wczesnych przejawów znużenia, graniczącego z wyczerpaniem rozporządzalnych zasobów potencjalnych osobnika pracującego. O ile zatem przekroczenie kresu normalnego obciążenia osobnika, czyli pracy w warunkach przeciążenia („overloads" *Briggs'a* [1]), wzmaga i następnie zatrzymuje zużycie tlenu na osiągniętym maksymalnym poziomie, o tyle przy dalszem zwiększeniu intensywności pracy wentylacja płuc może wzrastać przez pewien czas nadal. Wielkość wentylacji płuc przy podniesieniu natężenia pracy wzrasta zatem w stopniu znaczniejszym od wzrostu wydatku energetycznego. Porównanie zmian wentylacji ze stopniem intensywności dokonywanej pracy wykazuje, że przy dużych wysiłkach wzmożenie procesów energetycznych łączy się z obniżeniem współczynnika pracy pożytecznej. Wysoki koszt fizjologiczny pracy, nieproporcjonalny do jej istotnej wydajności, należy tłumaczyć w pierwszym rzędzie nadwyżką przemiany, spowodowanej współdziałaniem mięśni dodatkowych, przychodzących z pomocą mięśniom, bezpośrednio w pracy zaangażowanym. Trwanie pracy łączy się w tych warunkach ze wzrastającym deficytem tlenowym. Niewystarczalność zapotrzebowania tlenowego przy nieproporcjonalnie wysokiej wentylacji płuc wskazuje na słaby stopień wyzyskania tej ostatniej. Obfity strumień powietrza, przepływającego przez płuca, nie jest wykorzystany w tej mierze, jak to odbywa się w spoczynku, a szczególnie podczas pracy umiarkowanej. Nieekonomicznie duża wentylacja płuc przy wzrastającym deficycie tlenowym uzależniona jest od nienadążającej za wzrostem wymagań



Rys. 49. Krzywe zużycia tlenu (dolna) i wentylacji płuc (górna) przy zwiększeniu pracy (przyśpieszeniu tempa biegu w miejscu). Zużycie O_2 pozostaje na stałym maksymalnym poziomie (rzekome steady state), wtenczas gdy wentylacja płuc wzrasta do końca pracy (H e r b s t).

[1] *Briggs, H.:* loc. cit.

pracy czynności mechanizmów wiązania i transportu tlenu. Wzrost wentylacji płuc podczas pracy może zatem do pewnego stopnia świadczyć o „formie“ osobnika. Niższy wzrost wentylacji oraz bardziej oszczędne zużycie tlenu cechują naogół jednostki bardziej usprawnione.

Stopień efektywności wentylacji płuc, uwidaczniający sprawność wyzyskania tlenu powietrza wdechowego, jest tem większy, im mniejsza jest zawartość tlenu w powietrzu wydechowem. Jak już zaznaczono poprzednio (str. 312), funkcja wyzyskania tlenu powietrza, przepływającego przez płuca, może być wyrażona ilorazem $\frac{O_2\ (cm^3)}{went.\ (l)}$, wahającym się w spoczynku od 30—50. Liczby te wskazują ilość cm^3 tlenu, zużywanego przez ustrój przy przejściu jednego litra powietrza wdechowego przez przestrzeń pęcherzyków płucnych.

Analogicznie do powyższego, *Simonson* [1] proponuje określenie stopnia efektywności wentylacji płuc t. zw. kalorycznym współczynnikiem wentylacji: $\frac{\text{wentyl. zreduk. (l)}}{\text{kalorje na min.}}$. Wzrost współczynnika odpowiada gorszemu wyzyskaniu O_2 powietrza wdechowego. Poza wpływami indywidualnych różnic stanu fizycznego, stopień wyzyskania tlenu powietrza oddechowego zależny jest od rodzaju pracy. Przykładem może być zanotowane przez *Christensen'a* [2] mniejsze wyzyskanie wentylacji podczas pracy rąk na cykloergomierzu zamiast pracy kończyn dolnych. Mniejszą efektywność wentylacji w pierwszym przypadku należy powiązać z pewnem ograniczeniem ruchów klatki piersiowej, przy intensywnej pracy kończyn górnych.

Jedną z głównych przyczyn obniżenia wyzyskania tlenu powietrza oddechowego przy przekroczeniu górnej granicy normalnego obciążenia pracy jest zakłócenie synergji funkcyj oddychania i krążenia, ujawniające się w zmianach równowagi stosunku:

$$\frac{\text{wzmożenie krążenia}}{\text{wzrost wentylacji}}$$

Nieekonomiczna wentylacja płuc, niewyrównywująca powstających zjawisk dyspnoetycznych, wytwarza się w warunkach osiągnięcia maksymalnego wzrostu objętości minutowej serca. Serce osobnika niewyćwiczonego, obdarzone dodatkową pracą wyrównania niedostatecznej efektywności wentylacji nie jest w stanie sprostać w dostarczaniu tlenu odpowiednio do wymagań tkanek. U osobnika mniej usprawnionego nadwyżka wentylacji płuc, kompensująca gorsze wykorzystanie powietrza oddechowego, pokrywa nadto wzrost zapotrzebowania tlenu z powodu znacznie wzmożonej czynności serca i mięśni oddechowych. Podobny przebieg hyperwentyla-

---

[1] *Simonson, E.:* loc. cit.
[2] *Christensen, H.:* Arbeitsphysiol. 5 (463). 1932.

cji daje się zaobserwować u emfizematyków oraz u chorych z niedomogą krążenia, u których praca fizyczna powoduje silniejsze stopnie zakwaszenia krwi oraz łatwiejsze występowanie objawów duszności *(Eppinger, Kisch* i *Schwarz*[1], *Gollwitzer-Meier* i *Simonson*[2]).

Zależnie od osobnika i rodzaju dokonywanej pracy, opisana niewydolność wymiany oddechowej może rozwijać się przy wentylacji od 50 — 100 l/min. Podczas krótkich, wyjątkowo forsownych wysiłków, ilość pobieranego tlenu, dochodząca do 4 zgórą litrów, przy 120 l/min objętości minutowej oddychania *(Hill*[3]) jest niska w stosunku do natężenia funkcji przewietrzania płuc. Wydaje się wątpliwe, by wentylacja płuc o 120 — 150 l/min mogła być utrzymana dłużej ponad 1 — 2 min. Krótkotrwałe intensywne wysiłki dokonywane są z reguły przy mniejszym wzroście wentylacji, pomimo, iż krzywa zużycia tlenu idzie ku górze bardziej stromo, aniżeli przy wysiłkach długotrwałych. Ilość pobieranego przytem tlenu nie dochodzi jednak do norm, spotykanych podczas tych ostatnich. Zjawisko to zależy od bardziej sprzyjających warunków wentylacji płuc przy wysiłkach trwałych, w czasie wykonywania których znaczniejszy wzrost wymiany gazowej pozwala do pewnego czasu zachować zaopatrzenie tlenowe na poziomie jego zapotrzebowania. Tą drogą ustrój dąży do utrzymania ciągłości likwidacji produktów wzmożonej przemiany, jak również stara się wyrównać niedobór tlenowy okresu pracy.

Wysiłki forsowne krótkotrwałe (typu wysiłków siłowych lub sprintów) dokonywane są w warunkach mniejszego lub większego ograniczenia efektywności wentylacji z powodów natury mechanicznej, podyktowanych typem wykonywanych czynności motorycznych. Wysiłki te, wytwarzając potrzebę jaknajdalej idącego unieruchomienia klatki piersiowej i tułowia, hamują normalny przebieg wentylacji płuc oraz pogłębiają tem samem dysproporcję pomiędzy zapotrzebowaniem a zaopatrzeniem tlenu. Warunki motoryki tych wysiłków, obfitujących w elementy pracy statycznej, są zatem główną przeszkodą do ustalenia tej równowagi przemiany oddechowej, jaka cechuje wysiłki trwałe o mniejszem natężeniu.

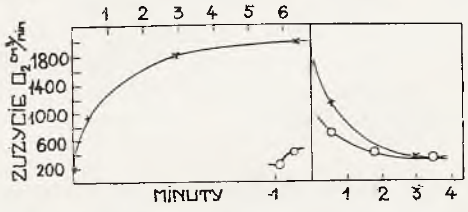
Krańcowym przykładem działania czynników, zakłócających normalny wzrost wymiany oddechowej podczas opisywanych wysiłków krótkotrwałych jest przebieg oddychania przy pracy o przeważających komponentach skurczów tonicznych.

Analizę wpływów intensywnej pracy statycznej zapoczątkowały klasyczne badania *Lindhard'a*[4] nad odychaniem i krążeniem podczas zwisu na drążku przy podciągnięciu się na rękach, jak również podczas niektórych innych typowych ćwiczeń gimnastycznych. Za-

---

1 *Eppinger, H., Kisch, F.* u. *Schwarz, H.:* loc. cit.
2 *Gollwitzer-Meier, K.* u. *Simonson, E.:* Zschr. exper. Med. 7 l. 1930.
3 *Hill, A.:* Muscular Activity. 1926.
4 *Lindhard, J.:* Skand. Arch. Physiol. 40 (145). 1920.

sadniczem zjawiskiem, charakteryzującem, według *Lindhard'a*, warunki pracy statycznej, wykonywanej z bardzo nieznacznem, w porównaniu z pracą dynamiczną, bo zaledwie 5—6-krotnem podwyższeniem przemiany spoczynkowej, okazał się wybitny wzrost natężenia wymiany w okresie wypoczynkowym.



Rys. 50. Krzywe zużycia tlenu podczas i po pracy dynamicznej (krzyżyki) oraz statycznej (kółka). W/g Lindhard'a.

Mechanizm powyższych zjawisk tłumaczy *Lindhard* upośledzeniem krążenia naskutek ucisku naczyń przez trwale kurczące się mięśnie. Powstający stąd niedobór tlenowy oraz zwolnienie procesu oksydacji, jak również nagromadzenie kwasu mlekowego odbija się na procesach wypoczynkowych. Przywrócenie normalnych warunków krążenia oraz polepszenie wyzyskania tlenu krwi tętniczej po ukończeniu pracy powoduje wyrównawczy wzrost wentylacji i przemiany oddechowej w okresie wypoczynkowym.

Wentylacja (alweolarna) przy pracy statycznej *(Lindhard).*

Osobnik	Spoczynek l	Praca l	Natychmiast po pracy	Późniejszy okres wypoczynku
E. H. I	8.0	19.3	22.0	—
E. H. II	6.3	18.0	17.8	16.0
O. F.	5.5	10.0	17.8	—
J. L.	4.3	10.1	23.8	15.1

Fakty, wykazane przez *Lindhard'a*, oraz przez niektórych innych badaczy *(Marschak* [1], *Riabouschinsky* [2], *Farfel* [3]*)*, nie zostały potwierdzone w całej pełni przez innych. Badania *Cathcart'a* i współpr. [4], *Dusser de Barenne* i *Burger'a* [5], *Simonson'a* i *Sirkinej* [6], *Niemierko* [7] nad różnego rodzaju pracą statyczną nie ujawniły wzmożenia zużycia O_2 po jej ukończeniu.

Charakterystyczny przebieg wypoczynku w doświadczeniach *Lindhard'a* stanowi, według tłumaczenia większości wspomnianych badaczy, następstwo nie zahamowania krążenia, lecz raczej unieru-

[1] *Marschak, M.:* Arbeitsphysiol. 4 (1). 1931.
[2] *Riabouschinsky, N.:* Biochem. Zschr. 193 (161). 1928.
[3] *Farfel, W.:* Fiziolog. Żurn. SSSR. 18 (468). 1935.
[4] *Cathcart, E., Bedale* a. *Mc Callum.:* Journ. of Physiol. 57 (161). 1923.
[5] *Dusser De Barenne, J.* u. *Burger, G.:* Pflüg. Arch. 218 (239). 1928.
[6] *Simonson, E.* u. *Sirkina, G.:* Arbeitsphysiol. 6 (528). 1933.
[7] *Niemierko, S.:* Przegl. Fizjol. Ruchu. 6 (503). 1934.

chomienia klatki piersiowej, ograniczającego wentylację płuc *(Atzler* [1], *Kektscheew* i *Braitzewa* [2]*)*.

Powyższy pogląd nasuwa skolei pewne zastrzeżenia wobec faktu, że utrudnienie oddychania, które stanowiłoby przyczynę niedoboru tlenowego, samo przez się nie wywołuje zanotowanego przez *Lindhard'a* obniżenia utylizacji tlenu *(Marschak)*. Większy lub mniejszy wzrost koncentracji kwasu mlekowego w mięśniach, wykonywujących pracę statyczną, przemawia również za podkreślonym przez *Lindhard'a* czynnikiem pogorszenia warunków krążenia, co potwierdzają nadto badania *Dolgin'a* i *Lehmann'a* [3] oraz *Riabouschinsky'ego*.

Rozbieżność dotychczasowych danych o przebiegu oddychania podczas pracy statycznej wynika nietylko z różnic natężenia i czasu trwania badanych rodzajów pracy, lecz powodowana jest, prawdopodobnie, również czynnikami natury metodycznej. *Farfel*, badając wpływy pracy statycznej o różnem natężeniu, zanotował każdorazowo charakterystyczny wzrost metabolizmu oddechowego po pracy przy warunku skrócenia w swych doświadczeniach badanej frakcji okresu wypoczynkowego odpowiednio do natężenia i trwania pracy. Wśród czynników, decydujących o stopniu wzrostu zużycia O_2 natychmiast po pracy, *Farfel* podkreśla obok niedostatecznego krążenia w mięśniach wpływ dodatkowych elementów pracy dynamicznej. Przedłużenie pracy statycznej, lub też zwiększenie obciążenia powoduje coraz wyraźniejszą domieszkę elementów dynamicznych w postaci skurczów dodatkowych, drżenia rąk, wzmożenia ruchów oddechowych. Powyższe czynniki, polepszając warunki zaopatrzenia mięśni w tlen, obniżają w rezultacie poziom niedoboru tlenowego, wyrównywanego po ukończeniu pracy.

„Punkt martwy" (przełomowy) pracy i „oddychanie wtórne".

Ustalenie się wentylacji płuc odpowiednio do natężenia wydatku energetycznego pracy występuje często nieco później, w porównaniu z przebiegiem krzywej zużycia tlenu. To ostatnie w przejściowych okresach pracy i wypoczynku jest naogół funkcją bardziej stałą oraz nie okazuje tych wahań, jakim ulega wentylacja płuc ze współzależnemi zmianami zawartości w ustroju rozporządzalnego CO_2 *(Hansen* [4]*)*.

Dlatego też w celu odgraniczenia okresów pracy — początkowego i głównego — bardziej miarodajny, w porównaniu z danemi wentylacji płuc i wydalania CO_2 *(Szwejkowska* [5]*)*, wydaje się być

---

[1] *Atzler, E.:* Körper und Arbeit. 1927.
[2] *Kektscheew, K.* u. *Braitzewa, L.:* Arbeitsphysiol. 2 (526). 1930.
[3] *Dolgin,* u. *Lehmann, G.:* Arbeitsphysiol. 2 (248). 1929.
[4] *Hansen, E.:* Hndb. Bethe.
[5] *Szwejkowska, G.:* Acta Biol. exper. 9 (158). 1935.

przebieg zużycia O_2 (*Krogh* i *Lindhard*[1], *Herbst*[2], *Perlberg*[3]), będący zasadniczym indeksem natężenia procesów energetycznych.

Zachowanie się wentylacji płuc po okresie początkowym pracy zależne jest od wielkości i czasu jej trwania. Przy wysiłkach o znacznej intensywności wyrównanie i ustalenie się wentylacji poprzedza często krótkotrwały stan ostrych zaburzeń oddychania i krążenia, ujawniających się w zespole przejawów objektywnych i subjektywnych, które określane są jako „punkt martwy", czyli przełomowy pracy, poprzedzający t. zw. „wtórny oddech" (second wind). Zjawiska powyższe często towarzyszą dłuższej pracy dużych grup mięśniowych, np. podczas wiosłowania (regaty), jazdy na nartach, biegach długich, taternictwa, boksu i t. p.

Występowanie „punktu martwego" charakteryzuje wytwarzanie się zjawisk dyspnoetycznych wraz z częstym ponownym wzrostem wentylacji płuc i zużycia tlenu.

Czas zjawienia się omawianych zjawisk, trwających od 10—30 sek do kilkunastu min, zależy od intensywności pracy (wydatku energetycznego na jednostkę czasu). W doświadczeniach *Ewig'a* i *Wiener'a*[4] przy bardzo intensywnej pracy (cykloergometr), doprowadzającej już po 7.5—13.5 min do zupełnego zmęczenia, „punkt martwy" występował po 2 — 3 min. Według *Herbst'a* i *Nebuloni'ego*[5]):

przy pracy 450 kgm/min „punkt martwy" występuje po 19 min
„ „ 580 „ „ „ „ „ 14 „
„ „ 640 „ „ „ „ „ 7.5 „

W badaniach, dokonanych przez wspomnianych autorów podczas różnych biegów sportowych, omawiana współzależność zarysowuje się jeszcze wyraźniej:

Odległość biegu mtr.	Szybkość m/sek.	Występowanie punktu przełomowego	
		po przebyciu mtr.	po okresie czasu sek.
400	8.0	250	30
800	6.9	550	80
1 500	6.3	1 150	180
3 000	5.3	2 000	380
5 000	5.3	2 000	380
10 000	5.3	2 000	380

Przy biegach na średnią odległość, kiedy dużą rolę odgrywa szybkość biegu, czas występowania „punktu martwego" jest zależny

[1] *Krogh, A.* a. *Lindhard, J.:* loc. cit.
[2] *Herbst, R.:* Dtsch. Arch. Klin. Med. 162 (33). 1928.
[3] *Perlberg, A.:* Spr. Tow. Nauk. Warsz. 26. 1933, Przegl. Fizjol. Ruchu 5 (11). 1933.
[4] *Ewig, W.* u. *Wiener, R.:* Zschr. exp. Med. 61 (562). 1929.
[5] *Herbst, R.* u. *Nebuloni, A.:* Zschr. exp. Med. 57 (450). 1927.

do szybkości. Podczas biegów długich, wykonywanych przeciętnie w jednakowem tempie, czas zjawienia się „punktu martwego" pozostaje ten sam przy różnych odległościach. Zjawisk „punktu martwego" brak natomiast przy wysiłkach forsownych krótkotrwałych (np. sprintach). Stan dyspnoe, jako najbardziej charakterystyczny przejaw „punktu martwego" nie rozwija się przy tych ostatnich z powodu zbyt krótkiego czasu ich trwania.

„Punkt martwy" nie występuje również podczas stopniowego wzrostu natężenia pracy do poziomu maksymalnego lub też w warunkach poprzedzenia właściwej pracy lekkim wysiłkiem mięśniowym (*Mac Keith* i współpr. [1]). Znajdujemy tu uzasadnienie stosowanego w praktyce życiowej stopniowania wysiłku na początku pracy, względnie wykonywania lekkiej pracy przedwstępnej, prowadzącej do rozruszania się, czyli do t. zw. „rozgrzania się ustroju".

Zasadniczym efektem powyższych zabiegów przygotowawczych jest skrócenie okresu przejścia do stanu równowagi funkcjonalnej oraz złagodzenie, a nawet zupełne usunięcie poprzedzających ją zaburzeń „punktu martwego".

Subjektywnie „punkt martwy" pracy ujawnia się w wielobarwnym obrazie przejawów indywidualnych, których globalnym wyrazem jest wytworzenie się uczucia znacznego utrudnienia, lub wprost niemożności kontynuowania pracy. Uczuciu temu towarzyszy niejednokrotnie nagłe zachwianie wiary w swe siły oraz zmniejszenie impulsu woli przetrwania do ukończenia wysiłku, wzgl. zwycięstwa, w warunkach współzawodnictwa.

Stany powyższe, połączone z obniżeniem zdolności orjentacji i reagowania na bodźce zewnętrzne, pogorszeniem koordynacji ruchów, jak również zachwianiem zakresu i napięcia uwagi (*Wolfeil* [2]), rozwijają się na tle zaburzeń rytmu oddechowego, duszności, ucisku w klatce piersiowej, niekiedy przykrych sensacyj w okolicy serca, uczucia silnego zmęczenia, często bólów mięśniowych i ociężałości kończyn.

Zjawiska dyspnoetyczne rozwijają się w okresie „punktu martwego" na tle oddechu znacznie przyśpieszonego i powierzchownego. Wydech w stosunku do wdechu ulega skróceniu oraz jest utrudniony (*Amar* [3], *Herbst* i *Nebuloni* [4]). Pojemność życiowa płuc ulega redukcji (*Ewig* [5]). W porównaniu z okresem wstępnym pracy, wentylacja płuc jest powiększona, pomimo znacznego spadku amplitudy oddechowej (*Chailley-Bert*, *Faillie* i *Langlois* [6], *Mc Keith*, *Pembrey* i współpr. [7], *Ewig* [8], *Herxheimer* [9]). Jak stwierdził *Ewig*,

---

[1] *McKeith, N.. Pembrey, M., Spurrell, W., Warner, E.* a. *Westlake, H.:* Proc. Roy. Soc. 95. B. (413). 1924.
[2] *Wolfeil, T.:* Arch. f. Hyg. 97. 1926.
[3] *Amar, J.:* loc. cit.
[4] *Herbst, R.:* u. *Nebuloni, A.:* loc. cit.
[5] *Ewig, W.* Münch. med. Wschr. 46 (1955). 1925.
[6] *Chailley-Bert, Faillie* et *Langlois.:* C. R. Acad. des Sc. 172. 1921.
[7] *McKeith, N., Pembrey, M. i inn.:* loc. cit.
[8] *Ewig, W.:* Zschr. exp. Med. 51 (874). 1926.
[9] *Herxheimer, H.:* Zschr. klin. Med. 103. 1926.

wzrost wentylacji nie ustaje wraz z ukończeniem zjawisk „punktu martwego". Maksymalny poziom osiąga objętość minutowa oddychania w pierwszych sekundach okresu oddychania wtórnego (second wind).

Podniesieniu wentylacji płuc z przejściem do „punktu martwego" towarzyszy maksymalny wzrost zużycia O_2 przy zmniejszonej jednocześnie wydajności pracy. Jako następstwo hyperwentylacji, wydalanie CO_2 podnosi się również w tym okresie, dochodząc do swego maximum ku końcowi „punktu martwego". W związku z powyższem wzrasta ciśnienie parcjalne CO_2 pęcherzykowego (z 39.8 mm Hg do 48.5 mm Hg w jednem z doświadczeń *Ewig'a*), przy jednoczesnem zwiększeniu zawartości kwasu mlekowego we krwi i redukcji rozporządzalnego zasobu zasad. Oddziaływanie krwi wyraźnie przesuwa się w kierunku zakwaszenia.

Całokształt zmian funkcjonalnych wskazuje na zakłócenie normalnego bilansu przemiany z powodu podyktowanej przez ostre tempo pracy przewagi szybkości wyzyskania źródeł energetycznych nad procesami restytucji.

Stan dyspnoe, towarzyszący ostremu zachwianiu równowagi przemiany, nie jest jednak wyłącznem następstwem ewentualnego obniżenia wydolności wentylacji. Ostry niedobór tlenowy oraz wzrost zawartości CO_2 we krwi należy powiązać w głównej mierze z niedostatecznem skoordynowaniem wzmożenia wymiany gazowej z funkcją transportu O_2 i CO_2.

Zakłócenie normalnych warunków mechaniki oddechu przy częstej przewadze wdechowej ekskursji klatki piersiowej wpływa na przyśpieszenie krążenia dosercowego, prowadząc do zwiększenia rozkurczowego wypełnienia serca oraz wytwarzając skłonność do zjawisk zastoinowych w obiegu małym. Tętno — bardzo przyśpieszone, o małem wypełnieniu, niekiedy nieregularne. Ciśnienie krwi znacznie wzrasta i jest bardziej zmienne, aniżeli w późniejszych okresach pracy. Serce, nienadążające w sprostowaniu warunkom hemodynamiki podczas nagłych zmian regulacji naczynioruchowej, przy przerzucaniu znaczniejszej ilości krwi z okolicy nerwu trzewiowego do mięśni, ulega przeciążeniu. Wyrazem osiągnięcia kresu rezerw potencjalnych serca są występujące niekiedy arytmje i ekstrasystole. *Wenckebach* [1] upatruje w semeiologji „punktu martwego" analogję z t. zw. ambulatoryjną postacią anginae pectoris.

Nie będąc bezpośredniem następstwem niewydolności jakiejś izolowanej czynności, zjawiska „punktu martwego" są przejawem przejściowej niewystarczalności skoordynowania całokształtu funkcyj. Natężenie tych przemijających zmian, wzmagając się od początku pracy, dochodzi do swego maximum w „punkcie martwym". W tymże okresie rozwija się spadek wydalniczej czynności nerek, wykazany przez *Weber'a* [2], *Wüscher'a* [3], *Wilson'a* i współpr. [4],

---

[1] *Wenckebach, K.:* Wien. Klin. Wschr. 41 (1). 1928.
[2] *Weber, A.:* Biochem. Zschr. 173 (69). 1926.
[3] *Wüscher, H.:* Biochem. Zschr. 156 (426). 1925.
[4] *Wilson, W., Long, W., Thompson, H.* a. *Thurlow, S.:* Journ. biol. Chem. 65 (753). 1925.

McKeith'a i współpr.[1] i inn. Ograniczenie diurezy wzmaga się z początkiem pracy, okazując największe nasilenie w okresie steady state. Zjawisko to, występujące nawet po przyjęciu diuretica, wiąże się ze zwężeniem naczyń i zmniejszeniem ukrwienia okolicy nerwu trzewiowego.

Oligurja, rozwijająca się z reguły podczas intensywniejszej pracy, nie będąc zjawiskiem wtórnem, poprzedza wzmożone z ukończeniem „punktu martwego" wydalanie wody przez skórę i płuca (*McKeith* i współpr., *Gippenreiter*[2]). Główny ciężar regulacji gospodarki wodnej ustroju, zdażającej w warunkach intensywnej pracy ku wyrównaniu następstw wzmożonej ciepłoprodukcji, jak również szybkiego wydalania powstającej nadwyżki kwasu mlekowego, przenosi się zatem na szybko działające mechanizmy pozanerkowe. Nasilenie funkcji wydalania wody przez skórę i płuca wraz z polypnoe termica (*Fabre*[3]) dochodzą do swego szczytu przy przejściu w okres „second wind".

Czynnikami sprzyjającemi rozwojowi całokształtu opisanego zespołu przejawów, są wpływy psychiczne, występujące często na początku pracy oraz silnie zaakcentowane w warunkach współzawodnictwa. Stany emocjonalne, modyfikując całokształt czynności układu wegetatywno-hormonalnego, często nietylko obniżają sprawność koordynacji nerwowo-mięśniowej, lecz mogą i opóźniać ustalenie się optymalnego rytmu pracy, powiększając obciążenie serca i oddychania.

Zjawiska „punktu martwego" nie ograniczają się do zakresu wyłącznie pracy fizycznej. Intensywne wysiłki umysłowe, nie wytwarzając całego obrazu zjawisk „punktu martwego" pracy mięśniowej, mogą jednak wywoływać odmienny w swych przejawach, aczkolwiek zupełnie wyraźny, przemijający okres dyskoordynacji funkcji uwagi, wnioskowania, kojarzenia i t. d. Zmiany powyższe odbijają się skolei na normalnych czynnościach wegetatywno-hormonalnych. Omawiane stany, podobnie zresztą do przebiegu pracy mięśniowej, są szczególnie zaznaczone w warunkach niewyrównanego znużenia po poprzedniej pracy. Stanowią one w swej istocie wyraz nasilenia procesów pokonywania bezwładności funkcjonalnej przy przejściu od spoczynku do intensywnej nadczynności.

Pokonanie rozpoczynającego się bezwładu ruchowego dokonywuje się niejednokrotnie przy udziale dodatkowego wysiłku woli. Dużą rolę odgrywają przytem doppingi ambicji osobistej, współzawodnictwa i t. p. Przeciągnięcie się okresu „punktu martwego" może jednak doprowadzić do wyczerpania się rezerw funkcjonalnych ustroju i niewystarczalności impulsu nerwowego do osiągnięcia sta-

---

1 *Mc Keith, Pembrey i inn.:* loc. cit.
2 *Gippenreiter, B.:* Fiziologiczeskija osnowy sporta. 1935.
3 *Fabre, R.:* C. R. Congr. Intern. de Med. d'Educ. Phys. 1936.

nu adaptacji do dalszej pracy w tem samem tempie. Przykładem mogą być wypadki, kiedy niedostatecznie wytrenowany biegacz schodzi z bieżni w okresie „punktu martwego".

Ukończenie omawianego okresu charakteryzuje ustalenie należytych warunków koordynacji ruchowej, dostosowanej do osiągniętego jednocześnie stanu współdziałania czynności fizjologicznych. Zjawiska powyższe decydują o wkraczaniu ustroju w okres adaptacji, pozwalającej na dalsze kontynuowanie wysiłku.

Opanowanie koordynacji nerwowo-mięśniowej podnosi ekonomikę pracy mięśni, odciążając czynność serca i oddychania oraz obniżając tą drogą ogólny koszt energetyczny.

Powyższy stan wytworzenia niezbędnych warunków fizjologicznych, określany w mowie potocznej jako osiągnięcie „wtórnego oddechu" (second wind), lub też drugiego okresu oddychania, stanowi w swej istocie okres adaptacji, lub też skoordynowania zespołu mechanizmów, decydujących o wydajności maszyny ludzkiej. Mijają wówczas zaburzenia czynnościowe oraz związane z niemi przykre sensacje. Przejawy dyspnoe znikają wraz ze wzrostem sprawności układu ruchowego. Z uczuciem lekkości pracy wracają precyzja i automatyzm ruchów, wzrasta ich ekonomika. Zjawia się napowrót ufność w swe siły, u zawodnika wzmaga się pożądanie zwycięstwa.

W następstwie wprowadzenia w grę odnośnych czynników regulacyjnych, ustrój pozbywa się w omawianym okresie „second wind" nadmiaru CO_2. Wydalanie CO_2, wzrastające podczas „punktu martwego" 14-krotnie, w porównaniu ze spoczynkiem, obniża się do wzrostu 10-krotnego. Odpowiedni stosunek zmian zużycia tlenu wynosi 10.7 i 8.5 (*McKeith* [1]). W następstwie hyperwentylacji początkowego okresu pracy obniża się również zawartość CO_2 we krwi i pęcherzykach płucnych (*Ewig* i *Wiener* [2], *Gippenreiter* [3]). Jednocześnie występuje spadek koncentracji kwasu mlekowego we krwi oraz zmniejszenie stopnia jej zakwaszenia. Wielkość wymiany oddechowej i czynności serca obniża się do poziomu natężenia przemian energetycznych, odpowiadającego wykonywanej pracy.

Częstym objawem, towarzyszącym przejściu do okresu „second wind", jest obfite pocenie się, połączone z wydalaniem z potem dużych ilości kwasu mlekowego (*Snapper* i *Grünbaum* [4]). Podniesienie ciepłoty, dochodzące do swego maximum w okresie „punktu martwego", osiąga dzięki uruchomieniu skórnych mechanizmów termoregulacyjnych poziom optymalny, sprzyjający przebiegowi przemian biochemicznych w mięśniach (*McKeith* i współpr.).

Według innych spostrzeżeń (*Berner*, *Garett*, *Jones* i *Noer* [5])

---

[1] *McKeith, Pembrey* i inn.: loc. cit.
[2] *Ewig, W.* u. *Wiener, R.:* loc. cit.
[3] *Gippenreiter, B.:* loc. cit.
[4] *Snapper, J.* u. *Grünbaum:* Erg. sportärtzl. Unterzuch. Olymp. Spiele. 1929.
[5] *Berner, G., Garret, C., Jones, D.* a. *Noer, R.:* Amer. Journ. Physiol. 76 (586). 1926.

występowanie „second wind" nie łączy się z nieodzownym warunkiem wzrostu ciepłoty ciała (kontrolowanej stanem t^0 rektalnej). Wskazani autorzy przypisują większe znaczenie zmianom ciepłoty w mięśniach czynnych. Naogół jednak okres „second wind" rozwija się wcześniej w warunkach wyższej ciepłoty otoczenia.

Natężenie omawianych etapów „punktu martwego" i „second wind" jest różne, zależnie od wielkości wysiłku oraz stanu wytrenowania osobnika pracującego. Wytrenowanie łagodzi stopień zaburzeń „punktu martwego", pozwala nadto na dokonywanie pracy bardziej intensywnej często bez jakichkolwiek zaburzeń, poprzedzających ustalenie bilansu przemiany oddechowej (*McCurdy* i *Mc Kenzie* [1]).

W świetle praktyki sportowej środkiem pomocniczym w przyśpieszeniu adaptacji do wysiłku są wykonywane przed startem przez wielu doświadczonych sportowców - długodystansowców energiczne ruchy oddechowe. Hyperwentylacja przed pracą prowadzi przytem nietylko do zapobiegawczego wypłukania pewnej ilości CO_2 i zwiększenia ciśnienia O_2 w płucach, lecz wpływa jednocześnie i na ożywienie krążenia krwi.

Dodatni wpływ wzmożonego przewietrzania płuc nie ogranicza się do przyspieszenia okresu adaptacji. Świadoma hyperwentylacja podczas pracy skraca okres wypoczynku (*Simonson* [2], *Simonson* i współpr. [3], *Efimoff* i *Arschawski* [4]). Działanie hyperwentylacji występuje zupełnie wyraźnie również i przy wywołaniu jej za pomocą inhalacji powietrza z domieszką 5% i 10% CO_2. Następstwem tego rodzaju inhalacji przed pracą było w doświadczeniach *Simonson'a* skrócenie okresu adaptacji.

Działanie hyperwentylacji przed pracą nasuwa pewne analogje do wpływów oddychania podczas, względnie przed pracą, powietrzem o zwiększonej zawartości O_2 (*Hill, Long, Lupton* [5], *Campbell* [6], *Missiuro* i *Szulc* [7]). Zwiększa się przytem natężenie O_2 w pęcherzykach oraz może podnieść się nieco stopień nasycenia tlenem krwi, o ile nie jest ono zupełne podczas ciężkiej pracy.

Lepsze zaopatrzenie tlenowe, które może być wywołane bardzo nieznacznym zresztą podczas hyperwentylacji świadomej, wzrostem zawartości O_2 we krwi, nie jest wyłącznym czynnikiem, podnoszącym wydajność pracy i przyspieszającym proces restytucji. Współdziałają przytem zapewne — wzmożenie wydalania CO_2, a szczególnie ożywienie krążenia. Ostatni czynnik może odgrywać dużą rolę przy niektórych rodzajach pracy, wykonywanej w pozycji sto-

---

1 *McCurdy, J.* a. *McKenzie, R.:* Physiology of Exercise. 1928.
2 *Simonson, E.:* Pflüg. Arch. 214 (380). 1926.
3 *Simonson, E., Teslenko, N.* u. *Gorkin, M.:* Arbeits physiol. 9 (152). 1936.
4 *Efimoff, W.* u. *Arschawski, J.:* Arbeitsphysiol. 2 (253). 1930.
5 *Hill, Long* a. *Lupton:* loc. cit.
6 *Campbell, J.:* Proc. Roy. Soc. London. 99 (451). 1926.
7 *Missiuro, W.* i *Szulc, G.:* loc. cit.

jącej, lub też obfitującej w momenty pracy statycznej (*Bruns*[1], *Atzler* i *Herbst*[2]).

Dodatni wpływ hyperwentylacji przed i podczas pracy okazuje duże podobieństwo do następstw poprzedzenia właściwej pracy lekkim wysiłkiem mięśniowym. Podobnie i tu okres adaptacji ulega skróceniu, jak również ulegają zmianom i aktywacji procesy wypoczynkowe (*Simonson* i współpr.[3], *Winogradow*[4]).

Skoordynowanie zasadniczych mechanizmów kinetyki fizjologicznej—wielkości wymiany gazowej, funkcji transportu i oddawania O_2 tkankom, regulacji zasadowo-kwasowej krwi, czynności serca i krążenia obwodowego, natężenia metabolizmu mięśniowego — z warunkami pracy mechanicznej wprowadza ustrój poprzez przemijający okres adaptacji w stan równowagi funkcjonalnej (steady state). Stały poziom wentylacji płuc i zużycia tlenu stanowi przytem wyraz skorelowania funkcji krążenia i oddychania, co prowadzi skolei do uzgodnienia zapotrzebowania na tlen z jego aktualnem zaopatrzeniem.

Natychmiast po ukończeniu pracy zarówno wentylacja, jak i zużycie tlenu oraz wydalanie dwutlenku węgla wykazują na początku dość gwałtowny spadek, zbliżony w swej postaci graficznej do krzywej wykładniczej. Szybkość zmniejszenia wentylacji płuc w pierwszych 1 — 2 min, t. zn. w okresie ostro występującego doraźnego przestrojenia wielkości przemiany oddechowej, wykazuje pewna zależność od intensywności wysiłku i wywołanej przez niego hyperwentylacji. Może nadto ulegać dość znacznym wahaniom, przywiązanym do indywidualnych własności oddychania. Spadek wentylacji płuc po ukończeniu pracy należy w pierwszym rzędzie tłumaczyć zmianami warunków regulacji humoralno-chemicznej. Stan kwasowości ośrodków oddechowych ulega po zaprzestaniu pracy stopniowemu wyrównaniu. Ilość kwaśnych produktów przemiany w ośrodkach rdzenia przedłużonego obniża się w następstwie wzrostu zaopatrzenia mózgu w tlen podczas przywracania po pracy status quo rozmieszczenia krwi, krążącej w ustroju. Zmiany warunków krążenia po pracy sprawiają, że znaczne ilości krwi, odpływające od wypoczywających mięśni, sprzyjają likwidacji zjawisk względnego niedotleniania układu nerwowego ośrodkowego, jakie niewątpliwie ma miejsce podczas intensywnej pracy. Stąd też obniżenie jonów H w ośrodkach oddechowych z równoległym spadkiem wielkości wentylacji płuc.

W występowaniu nagłego zmniejszenia wielkości oddychania po ukończeniu pracy należy podkreślić nadto współudział wpływów neurogenicznych. Stan nadwrażliwości ośrodków oddechowych, utrzymywany podczas pracy za pośrednictwem impulsów korowych

---

[1] *Bruns, O.:* Klin. Wschr. 6 (1549). 1927.
[2] *Atzler, E.* u. *Herbst, R.:* Biochem. Zschr. 131 (20). 1922.
[3] *Simonson, E.: Teslenko, N.* u. *Gorkin, M.:* loc. cit.
[4] *Winogradow, M.:* XV. Internat. Physiol. Congr. 1935.

i proprioceptywnych, po ukończeniu jej ustępuje miejsca obniżeniu tonusa ośrodków. Spadek wentylacji płuc po pracy podczas trwania zwiększonej kwasoty krwi wskazuje na zmniejszenie normalnej pobudliwości ośrodków oddechowych oraz jest jednym z dowodów ich centrogennej regulacji.

Nagłe zmniejszenie wentylacji płuc w pierwszych minutach wypoczynku waha się, zależnie od intensywności dokonanego wysiłku, od 27% do 70% wielkości wentylacji okresu pracy. (*Missiuro* i *Szulc* [1]). Po intensywnych wysiłkach szybkość zmniejszenia wentylacji jest większa proporcjonalnie do hyperwentylacji okresu pracy. W porównaniu z nastawieniem oddechu przed pracą, zwiększona objętość minutowa oddychania omawianego okresu wypoczynkowego oparta jest raczej na znaczniejszem pogłębieniu ruchów oddechowych, aniżeli ich przyspieszeniu. Lepszy stopień wytrenowania wydaje się naogół wpływać na wzrost szybkości likwidacji hyperpnoe okresu pracy.

Po forsownych wysiłkach wytrzymałościowych, połączonych ze zjawiskami znacznej akumulacji znużenia, powrót wielkości wentylacji do normy przedłuża się od kilku do kilkunastu godzin. Po pracy, przedzielonej niewystarczającemi przerwami wypoczynkowemi (np. po kilkudniowych przebiegach narciarskich, lub kolarskich), pozostałości wzrostu wentylacji płuc mogą być stwierdzone nawet po 24 i 48 godzin (*Missiuro* [2]). Znaczniejsze stopnie zmęczenia po omawianych rodzajach wysiłków trwałych mogą wyrazić się przytem w trwaniu nawet do 48 godzin przyspieszenia oddechu przy zmniejszonej jednocześnie amplitudzie oddechowej. Rozbieżność w zachowaniu się rytmu oddechowego i głębokości oddechu jest przejawem znużenia układu ruchowego klatki piersiowej. Powierzchowny oddech („Sparsames" Atmen według *Speck*'a [3]) łączy się w tych przypadkach z obniżeniem ilorazu oddechowego.

Zużycie tlenu.

Podobnie do przebiegu zmian wentylacji płuc, zużycie tlenu osiąga poziom, odpowiadający natężeniu przemian energetycznych, nie z chwilą rozpoczęcia pracy, lecz dopiero po kilku minutach (od 0.5 do 6 min). Trwanie okresu adaptacji funkcji pobierania tlenu do potrzeb pracy tłumaczy się tem, że wytworzenie należytych warunków wzmożonego ukrwienia mięśni dla transportu i oddawania O_2 wymaga pewnego czasu.

Szybkość wzrostu ilości pobieranego tlenu zwiększa się wraz z intensywnością wysiłku. Ilustracją współzależności pomiędzy czasem trwania okresu początkowego pracy a jej intensywnością jest niżej podany przykład z badań *Herbst*'a [4] nad biegiem, dokonywanym z różną szybkością.

---

[1] *Missiuro, W.* i *Szulc, G.:* loc. cit.
[2] *Missiuro, W.:* III. Zjazd Ofic. sł. zdr. 1936.
[3] *Speck, C.:* Physiologie des Menschlichen Athmens. 1892.
[4] *Herbst, R.:* Dtsch. Arch. Klin. Med. 162 (33). 1928.

Trwanie okresu początkowego min	240 kroków na min		280 kroków na min.	
	zużycie O_2 cm^3 min	wydalanie CO_2 cm^3 min	zużycie O_2 cm^3/min	wydalanie CO_2 cm^3/min
0.5	2078	2155	2958	3064
0.75	2320	2301	3201	3694
1.0	2600	2553	3152	3682
1.25	2460	2505	3239	3485

Przy szybkości 240 kroków na min zużycie O_2 wzrasta w ciągu okresu początkowego, trwającego do 1 min. Przy większej intensywności biegu (280 kroków na min) maksymalny wzrost zużycia O_2 powstaje już po 0.75 min.

Wielkość zużycia tlenu jest w pierwszym rzędzie czynnikiem odpowiadającym procesom uwalniania energji, przemienianej w pracę mechaniczną. Całkowity koszt pracy nie może być jednak oznaczany wielkością zużycia tlenu wyłącznie w okresie pracy. W świetle danych o biochemizmie mięśni czynnych współudział tlenu ogranicza się głównie, jeżeli nie zupełnie, do przemiany okresu restytucji.

Pomimo że ilość pobieranego w czasie pracy tlenu nie jest wykładnikiem istotnej nadwyżki tlenowej, pokrywającej cały cykl oksydacyjnych procesów pracy i wypoczynku, to jednak zużycie tlenu podczas wykonywania pracy świadczy do pewnego stopnia o natężeniu przemian energetycznych. Stopień zużycia O_2 podczas pracy może być zatem wskaźnikiem wysokości wydatku energetycznego.

W powyższem też znaczeniu używane są dane zużycia tlenu do oceny wydatku energetycznego podczas różnego rodzaju pracy. Załączony przykład zestawienia tego rodzaju danych posiada jednak wartość względną, dostarczając dla charakterystyki fizjologicznej wskazówek wyłącznie orjentacyjnych. Bardziej miarodajne są porównawcze zestawienia ilości pobieranego na min tlenu przy badaniu pracy tego samego rodzaju, a nawet wykonywanej przez tego samego osobnika.

Ćwiczenie	Tlen: litry na min.	Autor
Jazda na rowerze . .	2.3	L. Zuntz
„ „ „ . .	3.0	Benedict i Cathcart
„ „ „ . .	2.8	Cambell, Douglas i Hobson
„ „ „ . .	3.2	Lindhard
„ „ „ . .	3.7	Missiuro i Szulc
Pływanie	2.8	Liljestrand i Stenstrom
Łyżwiarstwo	3.1	„ „
Narciarstwo	3.8	„ „
Bieg	3.5	„ „
„	4.2	Hill, Long i Lupton

Wykazywane przez przytoczonych autorów duże różnice zużycia tlenu przy tych samych rodzajach wysiłku fizycznego zależne są od niejednakowego tempa dokonywanej pracy oraz różnic indy-

widualnych w ustaleniu poziomu wielkości wymiany gazowej, odpowiadającego optymalnym warunkom pracy dla poszczególnego osobnika.

Ilość pobieranego podczas pracy tlenu, poza kosztem energetycznym, odzwierciadla nadto głębokie zmiany dynamiki biochemicznej, towarzyszące wzmożonej czynności ustroju. Szczególnego znaczenia nabierają pod tym względem dane zużycia tlenu podczas pracy, wykonywanej w warunkach przewagi wyzyskiwania źródeł energetycznych nad procesami ich oksydacyjnej odbudowy. Oświetlenie tych zjawisk zapoczątkował *Hill* [1]. Według koncepcji wymienionego autora, upatrującego daleko idące analogje praw regulujących zjawiska czynności mięśnia izolowanego do pracy ustroju, cała nadwyżka tlenu podczas pracy zużywa się na procesy restytucji.

W świetle badań *Hill'a* i jego szkoły, oksydacyjne przemiany, zachodzące w ustroju podczas pracy, mają jako główne, jeżeli nie wyłączne zadanie, likwidację nadwyżki wyprodukowanego kwasu mlekowego. Czynnikiem, określającym zasadniczy charakter energetyki procesów oksydacji w ustroju pracującym jest wykazana przez *Hill — Meyerhof'a* przemiana wytworzonej nadwyżki kwasu mlekowego. Ilość tego związku jest, według *Hill'a*, decydującym czynnikiem („governer") szybkości jego utleniania. Efektywność procesów usuwania kwasu mlekowego zależy więc od wystarczalności ilości pobieranego tlenu. Zaopatrzenie tlenowe, nienadążające za zbyt dużą szybkością produkcji kwasu mlekowego, wywołuje wzrost jego koncentracji oraz prowadzi ostatecznie do zmęczenia i przerwania pracy.

W chwili wystąpienia równoległego przebiegu wytwarzania i usuwania drogą oksydacji produktów przemiany w ustroju praca odbywa się w warunkach stałej równowagi (steady state) (*Hill, Long* i *Lupton* [2]).

Każdy rodzaj pracy umiarkowanej dłużej trwającej, wykonywany jest z osiągnięciem wskazanych warunków ustalenia zużycia tlenu na poziomie, odpowiadającym zwiększonej szybkości produkcji kwasu mlekowego. Przejście krzywej zużycia tlenu w linję poziomą wskazuje więc na osiągnięcie stanu równowagi funkcjonalnej (steady state), zapewniającej utrzymanie zawartości kwasu mlekowego w granicach tolerancyjnych. Nadwyżka zużycia tlenu jest przytem proporcjonalna do produkcji kwasu mlekowego. Dopiero przy forsownych wysiłkach krótkotrwałych, wykonywanych z maksymalnem wyładowaniem energji w małych odstępach czasu, szybkość wytwarzania kwasu mlekowego, dochodząca w wyjątkowych przypadkach do 3 gr. na sek *(Hill)*, przekracza możliwości ustroju tak szybkiej adaptacji fizjologicznej. Nagromadzenie kwasu mlekowego do 0.20 — 0.3%, odpowiadające poziomowi „maximum znuże-

[1] *Hill, A.:* loc. cit.
[2] *Hill, Long* a. *Lupton:* loc. cit.

niowego“ dla mięśnia izolowanego, ogranicza trwanie tego rodzaju wysiłku najwyżej do ½ min *(Evans* [1]*)*. Wielkość zapotrzebowania tlenu, pokrywającego potrzeby oksydacyjnej likwidacji tak znacznej ilości kwasu mlekowego, przekracza granice maksymalnej wydolności aparatów oddychania i krążenia.

Wysokość zużycia tlenu podczas okresu równowagi funkcjonalnej jest linijną funkcją wielkości pracy do pewnej submaksymalnej granicy jej intensywności *(Herxheimer* [2]*)*.

Ustalenie skoordynowanej nadczynności krążenia i oddychania, dostosowanej do każdorazowego poziomu zapotrzebowania tlenu, łączy się z wytworzeniem podczas okresu równowagi (steady state) tych optymalnych warunków, które decydują o stopniu oszczędności kosztu energetycznego. Uzgodnienie wszystkich mechanizmów pracy ujawnia się w okresie równowagi wzrostem wydajności pracy.

Czas zjawienia się oraz stopień polepszenia wydajności uzależniony jest od szeregu czynników (rytm pracy, obciążenie, stan wytrenowania, wiek). Najmniejsza wielkość zużycia O_2 odpowiada średniej szybkości (optymalnej) rytmu pracy, jak np. podczas pracy na cykloergomierzu — przy 60 obrotach na min *(Hansen* [3]*)*. Przekroczenie pewnego maximum intensywności wysiłku oraz przyśpieszenie ruchów poza granice rytmu optymalnego łączą się ze spadkiem wydajności pracy.

Przyśpieszenie tempa pracy, a szczególnie zwiększenie obciążenia powodują wcześniejsze występowanie zjawisk znużenia ze stopniowem powiększeniem zapotrzebowania tlenowego *(Loewy* [4], *Amar* [5], *Zuntz* i *Schumburg* [6], *Herxheimer* i *Kost* [7]*)*. Wzrost obciążenia przy niezmiennym rytmie intensywnej pracy, wykonywanej w warunkach steady state, powoduje zwiększenie zużycia O_2 w końcowych etapach pracy. Przy bardzo znacznem obciążeniu pobieranie tlenu może wzrastać od samego początku pracy, aż do chwili jej ukończenia *(Herbst* i *Nebuloni* [8], *Horiuschi* [9]*)*.

Koszt energetyczny pracy zwiększa się przytem naskutek pogorszenia koordynacji nerwowo-mięśniowej oraz wciągnięcia w pracę dodatkowych mięśni. Zwiększenie tempa pracy ponad pewne maximum podnosi wydatek energetyczny z powodu oporów, wynikających ze zmian cech elastyczności i lepkości mięśni *(Hill* [10]*)* oraz wzrostu momentu bezwładności w skoordynowanej grze mięśni o działaniu antagonistycznem. Wzrost natężenia przemiany odde-

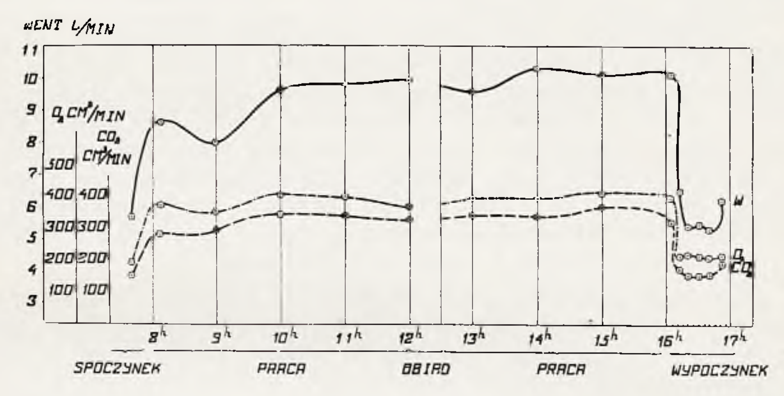
---

1 *Evans, L.:* Recent advances in Physiology. 1925.
2 *Herxheimer, H.:* Hndb. norm. u. pathol. Physiol.
3 *Hansen, E.:* Skand. Arch. Physiol. 54 (50). 1928.
4 *Loewy, A.:* Pflüg. Arch. 49 (405). 1891.
5 *Amar, J.:* Organisation physiol. du Travail. 1915.
6 *Zuntz* u. *Schumburg:* Physiologie des Marsches. 1901.
7 *Herxheimer, H.* u. *Kost, R.:* Zschr. Klin. Med. 116 (609). 1931.
8 *Herbst, R.* u. *Nebutoni, A.:* loc. cit.
9 *Horiuschi:* Arbeitsphysiol. 1 (75). 1928.
10 *Hill, A.:* Muscular movement in man. 1927.

chowej należy również częściowo powiązać z podniesieniem ciepłoty ciała *(Christensen* [1]*)*.

Wyżej przytoczone czynniki, przyśpieszające rozwój znużenia, sprawiają, że przy przedłużeniu intensywnej pracy (1140 — 1400 kgm/min w dośw. *Hansen'a* [2]) w późniejszych jej okresach krzywa zużycia tlenu podnosi się ponad poziom, charakterystyczny dla początkowego stanu steady state *(Hansen, Marschak* [3]*)*. Podczas pracy umiarkowanej może natomiast wystąpić wyraźne polepszenie wydajności *(Herxheimer* [4], *Simonson* i *Hebestreit* [5]*)*.

Praca umiarkowana, trwająca godzinami oraz wykonywana w warunkach steady state, prowadzi ostatecznie również do nieznacznego zwiększenia wydatku energetycznego, który występuje w różnym czasie, zależnym od rodzaju, wielkości pracy oraz własności indywidualnych osobnika. Obniżenie wydajności, występujące przy pracy dłuższej, jest naogół nieznaczne, nie odpowiadając występującemu jednocześnie znużeniu. W badaniach *Zuntz'a* i *Schumburg'a* [6] wzrost zużycia O_2 po marszu wojskowym wynosił średnio 3.6%. Szereg innych badaczy — *Benedict* i *Cathcart* [7], *Magne* [8], *Waller* [9] i inn — również zanotowali podobne zwiększenie wydatku energetycznego przy dłuższej pracy, nieproporcjonalne do znacznego niekiedy znużenia.



Rys. 51. Wymiana oddechowa podczas 8 godzinnego dnia pracy (produkcja obuwia gumowego) o natężeniu umiarkowanem. W — wentylacja płuc; druga krzywa od góry — zużycie O_2; dolna krzywa — wydalanie CO_2 (M i s s i u r o).

---

[1] *Christensen, H.:* loc. cit.
[2] *Hansen, E.:* Arbeitsphysiol. 7 (291). 1933.
[3] *Marschak, M.:* Fizjolog. Żurn. SSSR. 17 (853). 1934.
[4] *Herxheimer, H:* Arbeitsphysiol. 8 (801). 1935.
[5] *Simonson, E.* u. *Hebestreit:* Pflüg. Arch. 225. 1930.
[6] *Zuntz* i *Schumburg:* loc. cit.
[7] *Benedict* i *Cathcart:* Muscular Work. Publ. Carnegie Inst. 1913.
[8] *Magne, H.:* loc. cit.
[9] *Waller:* Journ. of Physiol. 52 (5). 1920.

W innych przypadkach praca, prowadząca do większego lub mniejszego znużenia może trwać godzinami przy utrzymaniu zużycia O_2 na tym samym poziomie. Tego rodzaju zachowanie się steady state cechuje często pracę zawodową o niewielkim koszcie energetycznym. Znużenie, występujące podczas tego rodzaju pracy, obfitującej w wysiłki statyczne, rozwija się na tle monotonji pracy, jak również innych negatywnych czynników (hałas maszyn, zanieczyszczenia powietrza, intoksykacje), wpływając w stopniu znikomym na krzywą wydatku energetycznego. (Rys. 51).

Niedobór tlenowy, rozwijający się w miarę występowania zjawisk znużenia przy pracy dłuższej, lub też zwiększeniu jej intensywności może mieć miejsce również i przy niektórych postaciach intensywnych wysiłków krótkotrwałych. Punktem wyjściowym niedostatecznego zaopatrzenia tlenowego przy tych ostatnich jest wykonywanie maximum pracy w ograniczonym czasie, najczęściej przy zahamowaniu oddechu. Wielkość niedoboru tlenu zależy przytem całkowicie od stopnia wyzyskania tlenu powietrza oddechowego w okresie poprzedzającym okres apnoe oraz od odporności ośrodka oddechowego na następstwa niedotleniania krwi. Odpowiednie współdziałanie tych dwuch momentów pozwala jednostce wytrenowanej na znaczniejsze przedłużenie wysiłku, bez wykonywania dodatkowych ruchów oddechowych, ujemnie wpływających na mechanikę czynności ruchowych (np. przy biegach szybkościowych).

Maksymalne natężenie wysiłku, przy którym stan steady state utrzymywany jest z wykorzystaniem całego zasobu rezerw akomodacyjnych funkcyj oddychania i krążenia, waha się w szerokich granicach, zależnie od stanu fizycznego osobnika. Stany wytrenowania podnoszą górną granicę zużycia tlenu w okresie steady state oraz zwiększają tą drogą wymiar pracy, jaki może być dokonany przez jednostkę wytrenowaną (*Herbst*[1]).

Zużycie tlenu do 4.2 l/min (*Hill*[2]) i 4.7 l/min (*Christensen*[3]) w okresie równowagi u osobników dobrze wytrenowanych należy, przypuszczalnie, do przejawów maksymalnej wydolności indywidualnej. Podobnie i czas trwania steady state zależy od własności indywidualnych dynamiki oraz stanu wytrenowania. Podczas stałego rytmu pracy na ergomierzu osobnik wytrenowany utrzymywał w dośw. *Bock'a*, *Dill'a* i współpr.[4] zużycie tlenu na poziomie 2.5 l/min przez 2 godz. Wydalanie CO_2 w okresie steady state utrzymuje się w stosunku do zużycia tlenu również na niezmiennym poziomie. Iloraz oddechowy nie ulega więc przytem znaczniejszym wahaniom.

---

[1] *Herbst, R.:* loc. cit. str. 410.
[2] *Hill, A.:* loc. cit.
[3] *Christensen, H.:* Arbeitsphys. 5 (463). 1932.
[4] *Bock, A., Vancaulaert, C., Dill. D., Fölling, A.* a. *Hurxthal, L.:* Journ. of Physiol. 66 (162). 1928.

Stopień zyżycia tlenu na jednostkę pracy, jako miernik wydolności fizycznej, wskazuje, że osobnik wytrenowany zużywa na kgm pracy mniej tlenu w porównaniu z niewytrenowanym (*Gemill, Booth* i *Pocock*[1], *Schneider* i *Ring*[2], *Kaplan* i *Kagan*[3], *Hansen*[4], *Ewig*[5], *Schenk*[6] i inn).

Z punktu widzenia oceny kosztu energetycznego, ta sama ilość pracy, dokonywana kosztem większej ilości tlenu, jest zatem u osobnika niewytrenowanego mniej ekonomiczna.

Dług tlenowy.

Krzywa przebiegu zużycia tlenu w okresie wypoczynkowym wskazuje, że pomimo ukończenia pracy wielkość pochłaniania tlenu nie powraca natychmiast do wartości wyjściowej (spoczynkowej), lecz, opadając stopniowo, pozostaje przez pewien czas na poziomie wyższym.

Trwanie zwiększonego zużycia tlenu po dokonanej pracy było obserwowane oraz opisane przez badaczy starej szkoły (*Speck*[7], *Zuntz* i *Schumburg*[8], *Loewy*[9], *Katzenstein*[10] i inn.) jako swego rodzaju przejaw pozostałego wpływu pracy. Owe „Nachwirkung“ przypisuje *Speck* następstwom stopniowego wyrównania wzmożonej czynności mięśni oddechowych i serca. Ze zbliżonym poglądem spotykamy się u *Loewy'ego*, według którego praca wywołuje po jej zakończeniu przemijający wzrost przemiany spoczynkowej.

Naogół jednak do czasu ukazania się prac *Hill'a*[11] ośrodkiem uwagi był wyłącznie sam okres wykonywania pracy. Dopiero *Hill* powoduje zasadniczy zwrot w powyższych poglądach, przenosząc główny ciężar w interpretacji procesów pracy na zjawiska restytucji. W świetle koncepcji *Hill'a* istotą spraw wypoczynku jest wyrównanie powstającego podczas pracy niedoboru tlenowego, jak również usunięcie produktów przemiany, które nie zdołały ulec oksydacyjnej likwidacji w okresie pracy.

Nadwyżka tlenu, pobieranego w okresie wypoczynku, oraz występująca zarówno po wysiłkach forsownych, jak i umiarkowanych, wykonywanych w warunkach stanu steady state, wskazuje, że zaopatrzenie w tlen podczas pracy nie pokrywa potrzeb odbywających się w tym czasie spalań. Analogicznie do przebiegu restytucji mię-

---

[1] *Gemill, C., Booth, W.* a. *Pocock, B.:* Amer. Journ. of Physiol. 92 (253). 1930.

[2] *Schneider, E.* a. *Ring. G.:* Amer. Journ. of Physiol. 91 (103). 1930.

[3] *Kagan, E.* u. *Kaplan, P.:* Arbeitsphys. 3 (60). 1930.

[4] *Hansen, E.:* w Hndb. (Bethe).

[5] *Ewig, W.:* Münch. med. Wschr. 46 (1955). 1925.

[6] *Schenk, P.:* Münch. med. Wschr. 48, 49 (2050, 2100). 1925.

[7] *Speck, C.:* loc. cit.

[8] *Zuntz* u. *Schumburg:* loc. cit.

[9] *Loewy, A.:* Hndb. d. Biochemie (Oppenheimer) B. VI. (255). 1923.

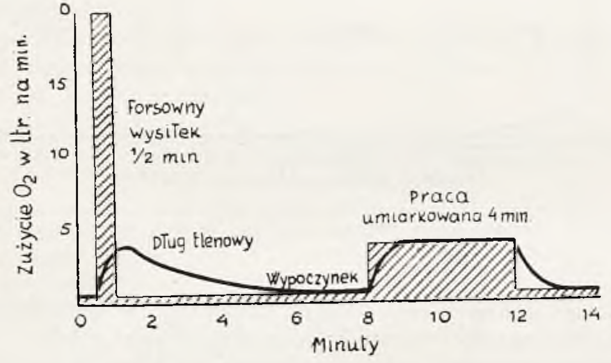
[10] *Katzenstein, G.:* Pflüg. Arch. 49 (379). 1891.

[11] *Hill, A.:* loc. cit.

śnia izolowanego, wypoczynek ustroju, jako całości, jest procesem, opartym na przemianach oksydacyjnych.

O ile więc nadwyżkę zużycia tlenu (zużycie aktualne bez spoczynkowej normy) podczas pracy oznaczamy jako A, nadwyżkę tlenową okresu wypoczynkowego, jako B, wówczas S, czyli ilość tlenu, pokrywającego spalania całego zespołu przemian energetycznych danej pracy, wyrazi się sumą nadwyżek pobieranego tlenu w okresie pracy i całego wypoczynku: S=A+B.

Niedostateczne zaopatrzenie tlenowe okresu pracy, jako następstwo ograniczonej wydolności krążenia i oddychania, zostaje więc wyrównane przez nadmiar pochłaniania tlenu podczas wypoczynku. Owa nadwyżka, pokrywająca niedobór tlenowy okresu pracy, stanowi, według *Hill'a*[1], zadłużenie tlenowe (oxygen debt). Każdorazowy wymiar długu tlenowego uzależniony jest od stopnia sprawności mechanizmów fizjologicznych adaptacyjnych, jak również wielkości dokonywanej pracy.



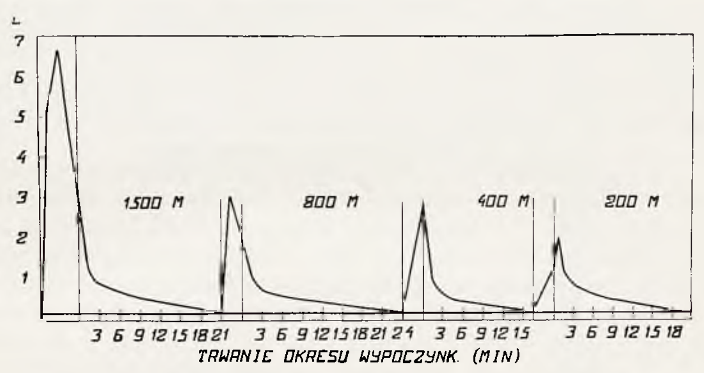
Rys. 52. Zapotrzebowanie (powierzchnie kreskowane) oraz bieżące zaopatrzenie tlenowe (linja tłusta) podczas i po pracy forsownej i umiarkowanej. Powierzchnie jasne za kreskowanemi przedstawiają wielkości długu tlenowego (w/g Hill'a).

Zasadniczym mechanizmem wzmożenia dynamiki maszyny ludzkiej w warunkach nieproporcjonalnego zaopatrzenia w tlen jest, w myśl teorji *Hill'a*, przesunięcie likwidacji niedoboru tlenowego na okres wypoczynku. Zdolność wykonywania wzmożonych czynności kosztem zaciągnięcia długu tlenowego stanowi niezaprzeczalną wyższość funkcjonowania ustrojów żywych w porównaniu z motorami martwemi. Krańcowym przykładem możliwych granic adaptacji omawianego mechanizmu fizjologicznego są warunki wykonywania wysiłków krótkotrwałych typu t. zw. sprintów. Natężenie wyładowania energji podczas 100 m sprintu jest ekwiwalentne dzielności około 13 HP (*Sargent*[2]), z czego energja odpowiadająca 2.9 HP zużywa się podczas wykonywania pracy (22.7% wydajności), wten-

[1] *Hill, A.:* loc. cit.
[2] *Sargent:* Proc. Roy. Soc. Lond. 100 (440). 1926.

czas gdy pozostała część pokrywa głównie procesy wypoczynkowe (*Fenn*[1]). Wyćwiczony biegacz zdolny jest do przebiegu 100 m odległości przy zupełnie zahamowanym oddechu.

Ograniczenie wentylacji płuc podczas omawianego wysiłku sprawia, że maksymalne zużycie tlenu występuje w 20 sek po przebyciu mety, wynosząc przeciętnie 2.4 l/min (*Hansen*[2]). Również, według *Klotschkow'a* i *Wassiljewej*[3], maksymalne zużycie O_2 występuje po biegu w pierwszej min wypoczynku. Dla biegu 400 m chwila ta przypada pod koniec biegu. Stopniowe przywrócenie spoczynkowej normy zużycia tlenu kończy się mniej więcej po 40 min wypoczynku.



Rys. 53. Zużycie tlenu podczas oraz po biegach na różną odległość (K l o t s c h k o w i W a s s i l j e w a).

W czasie dokonywania biegu następuje, w rezultacie nagle wzmożonej przemiany, wzrost koncentracji kwasu mlekowego, usuwanie którego przypada prawie wyłącznie na okres wypoczynkowy. Wielkość długu tlenowego, powstającego w ciągu około 12 sek wysiłku, przekracza 9 l przy 9.6 l całkowitej nadwyżki tlenu. Wzrost wentylacji płuc, kompensujący niedobór tlenowy okresu pracy, osiąga w pierwszych chwilach po dobiegu 60 — 70 l/min. Zadłużenie tlenowe łączy się więc z długiem wentylacji. Zapotrzebowanie tlenowe, zależne od natężenia przemiany, może dochodzić podczas wyczerpujących krótkotrwałych wysiłków nawet do 30 l/min (*Hill*[4]). Ponieważ aktualne zużycie tlenu podczas pracy osiąga najwyżej 4 — 4.7 l/min (u osób dobrze usprawnionych), tylko nieznaczna część kwasu mlekowego ulega przemianie w czasie pracy. Pozostała przeważająca część usuwa się podczas wypoczynku oraz jest proporcjonalna do wielkości zaciągniętego długu tlenowego (*Hill, Long* i *Lupton*[5]).

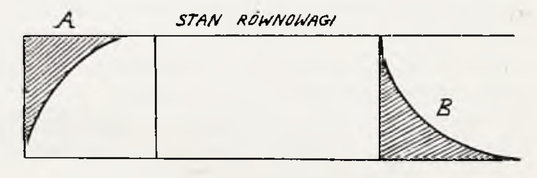
---

[1] *Fenn:* Amer. Journ. Physiol. 92 (383). 1930.
[2] *Hansen, E.:* Arbeitsphysiol. 8 (151) 1934.
[3] *Klotschkow, L.* u. *Wassiljewa, E.:* 7 (62). 1933.
[4] *Hill, A.:* loc. cit.
[5] *Hill, Long* i *Lupton:* loc. cit. str. 395.

Maksymalne wielkości długu tlenowego, wahające się w szerokich granicach, zależnie od stanu fizycznego osobnika, intensywności i czasu trwania pracy, mogą dochodzić po krótkotrwałych forsownych wysiłkach nawet do 19 l *(Hill)*. Przeciętny wymiar długu tlenowego po pracy umiarkowanej jest o wiele mniejszy, dochodząc po wysiłkach krótkotrwałych do 20 — 60% wartości zużycia O_2 w okresie pracy. Po pracy długotrwałej, o natężeniu zbliżonem do większości rodzajów pracy zawodowej, wielkość długu tlenowego rzadko przekracza 1.5 — 2 l. Wzrost czasu trwania pracy zwiększa naogół absolutną wielkość długu tlenowego, który maleje natomiast w stosunku do całkowitej nadwyżki tlenu zużytego na daną pracę. Tą drogą np. przy szybkościowym biegu na 100 m zostaje pokrywane podczas samego wysiłku wszystkiego około 8% całego zapotrzebowania tlenu. Reszta wyrównuje się w czasie wypoczynku. Podczas biegu na 10.000 m ułamek zapotrzebowania tlenowego, pokrywanego podczas wykonywania pracy, wzrasta do 85% *(Klotschkow* i *Wassiljewa)*.

Współzależność pomiędzy długiem tlenowym a ilością wytwarzanego kwasu mlekowego uwidacznia poniższe zestawienie wyników *Hill'a, Long'a* i *Lupton'a* [1].

Rodzaj pracy	Czas trwania pracy min	Czas trwania wypoczynku min	Dług tlenowy ltr.	Zawartość kw. mlek. %
Bieg 3 mtr./sek	5.2	9.5	1.7	0.033
Bieg 2.7/sek	60.0	60.0	4.3	0.093
Bieg na miejscu (szybkość maksymalna)	0.6	23.0	5.7	0.123
Sprint 225 mtr. w 23.4 sek .		27.1	8.7	0.163
Skakanie przez krzesełko do wyczerpania.	2.1	24.0	10.5	0.226
Bieg na miejscu do całkowitego wyczerpania (po oddych. tlenem)	4.0	87.0	18.6	0.372



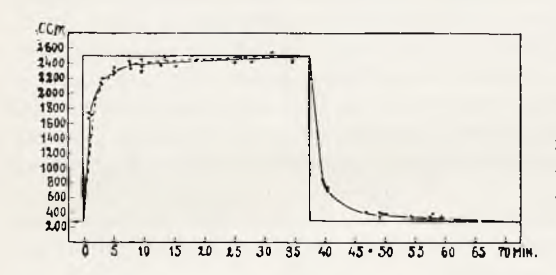
Rys. 54. Stan równowagi funkcjonalnej (steady state) podczas pracy umiarkowanej(w/g Simonson'a).

Zadłużenie tlenowe, towarzyszące pracy umiarkowanej, wykonywanej w warunkach równowagi funkcjonalnej, odpowiada deficytowi tlenowemu, który występuje w okresie kilkuminutowym, poprzedzającym wytworzenie owego stanu równowagi. Porównanie na krzywej zużycia tlenu niedoboru tlenowego do chwili ustalenia równowagi na początku pracy z nadwyżką tlenową w okresie wypoczynkowym wykazuje, że wartości te pokrywają się ze sobą *(Hill, Long*

[1] *Hill, Long* i *Lupton:* loc. cit.

i *Lupton*, *Krogh* i *Lindhard* [1], *Hebestreit* i *Simonson* [2], *Hansen* [3]). Główną przyczyną niedoboru tlenowego na początku pracy jest niedostateczne ukrwienie mięśni.

Przy wysiłkach lekkich pewna część powstającego w pierwszych minutach niedoboru tlenowego może ulec wyrównaniu w czasie wykonywania pracy *(Hansen)*. Pomimo tego zasadnicza likwidacja większego lub mniejszego niedoboru tlenowego, zależnego od wielkości i czasu trwania pracy, pozostaje z reguły integralną częścią zespołu procesów wypoczynkowych.



Rys. 55. Zużycie O_2 podczas i po 37 min. pracy na cykloergometrze (1010 kgm/min). Deficyt tlenowy początkowego okresu pracy pokrywa się z długiem tlenowym (H a n s e n).

Przy określaniu wymiaru długu tlenowego duże trudności nasuwa kwestja zachowania się natężenia przemiany podstawowej (względnie spoczynkowej) w okresach pracy i wypoczynku. Szereg faktów przeczy bowiem możliwości identyfikowania poziomu metabolizmu podstawowego w przebiegu tych okresów. Krzywa powrotu zużycia tlenu do wartości wyjściowej nie okazuje zupełnie równomiernego spadku, ulegając charakterystycznym wahaniom w kierunku wzrostu lub obniżenia.

Wzrost poziomu przemiany spoczynkowej do 7%, trwający po zlikwidowaniu długu tlenowego, zanotowali *Hill*, *Long* i *Lupton* [4]. Podobną nadwyżkę do 10% stanu wyjściowego, znikającą dopiero po 24 — 48 godz., w wyjątkowych przypadkach nawet po 72 godz. po ciężkiej pracy, opisują *Wissing*, *Wolf* i *Herxheimer* [5], jak również *Lindhard* [6], *Benedict* i *Smith* [7], *Herbst* [8], *Missiuro* [9]. Omawiane zjawiska są szczególnie zaznaczone po pracy wyczerpującej, lub też u osobników niewytrenowanych.

W niektórych przypadkach normalne obniżenie krzywej zużycia tlenowego zostaje zakłócone w 30—40 min po ukończeniu dłuższej pracy powtórnym nieznacznym wzrostem *(Hansen)*.

---

1 *Krogh, A.* a. *Lindhard, J.:* Journ. of Physiol. 53 (431). 1920.
2 *Hebestreit* i *Simonson:* loc. cit. str. 396.
3 *Hansen, E.:* loc. cit. str. 418.
4 *Hill, Long* i *Lupton:* loc. cit.
5 *Herxheimer, H., Wissing* u. *Wolf:* Zschr. exper. Med. 52 (447). 1926.
6 *Lindhard, J.:* Pflüg. Arch. 161 (233). 1915.
7 *Benedict, F.* a. *Smith:* Journ. biol. Chem. 20 (243). 1915.
8 *Herbst, R.:* loc. cit. str. 410.
9 *Missiuro, W.:* loc. cit. str. 410.

Obok reakcji wzmożenia przemiany oddechowej spoczynkowej, które, przypuszczalnie, nie wiąże się bezpośrednio z energetyką pracy mięśniowej, znajdujemy spostrzeżenia, że w pewnych warunkach wysiłek fizyczny może powodować przemijające obniżenie przemiany (*Speck* [1], *Schenk* i *Stähler* [2], *Delcourt-Bernard* i *Mayer* [3], *Missiuro* i *Szulc* [4], *Marschak* [5]). W badaniach *Kaup'a* i *Grosse'go* [6] spadek zużycia tlenu, występujący w 10 min po wypoczynku, dochodził do 50%. Analogiczne zjawisko opisuje *Mark* [7] przy badaniu olimpijczyków (1929). Zmniejszenie zużycia O_2 w 12 — 18 godz po zawodach wynosiło u 7 osobników około 32% wartości spoczynkowej.

Przytoczone fakty stwierdzają zatem, że procesy metabolizmu podstawowego, będąc wypadkową skojarzonych funkcyj gospodarki ustrojowej, oraz czule reagując na różnego rodzaju oddziaływania endogenne i egzogenne, nie pozostają bez zmian podczas oraz po ukończeniu pracy mięśniowej. Pod wpływem tej ostatniej przemiana oddechowa ulega przemijającemu przestrojeniu oraz okresowym wahaniom, nie wracając do swej normy po ukończeniu właściwych procesów restytucji. Powyższa labilność funkcji metabolizmu podstawowego każe bardzo oględnie operować porównawczemi danemi „specyficznego" wydatku energetycznego okresów pracy i wypoczynku, przy zastosowaniu odejmowania z wartości całkowitego zużycia O_2 podczas pracy wielkości, charakterystycznej dla stanu spoczynku. Tego rodzaju zbyt mechanistyczne podejście do obliczeń kosztu pracy wzgl. restytucji powoduje nieco sztuczne frakcjonowanie wartości biologicznej, powstającej nie z arytmetycznego dodania, lecz z interferencji złożonych przejawów fizjologicznych o wzajemnem działaniu pozytywnem — aktywującem, lub negatywnem — hamującem. Tolerowanie większego lub mniejszego błędu przy omawianych obliczeniach wynika z konieczności oparcia danych porównawczych na określonej wartości wyjściowej.

Różnice indywidualne w wielkości zaciąganego podczas pracy długu tlenowego są pogłębiane jeszcze bardziej przez wpływy treningu. Wzmagając zdolność lepszego zaopatrzenia tlenowego podczas pracy, stan wytrenowania zmniejsza tem samem niedobór tlenowy, wyrównywany w okresie wypoczynku. Omawiana współzależność pomiędzy wydolnością fizyczną a stopniem absolutnego zużycia tlenu podczas pracy wyraża się, według *Herbst'a* [8], we współczynniku korelacji, wynoszącym 0.69. Osiągnięcie indywidualnej granicy

---

[1] *Speck, C.:* loc. cit. str. 410.
[2] *Schenk, P.* u. *Stähler, F.:* Zschr. exper. Med. 67 (1). 1929.
[3] *Delcourt-Bernard* et *Mayer, A.:* Ann. de Physiol. et Physicochim. biol. 5 (509). 1925.
[4] *Missiuro, W.* i *Szulc, G.:* loc. cit. str. 397.
[5] *Marschak, M.:* Russ. Fiziolog. Żurn. 14 (204). 1931.
[6] *Kaup, J.* u. *Grosse, A.:* Münch. med. Wschr. 74 (1353). 1927.
[7] *Mark, R.:* Arbeitsphysiol. 2 (129). 1929.
[8] *Herbst, R.:* loc. cit. str. 410.

maksymalnego zużycia tlenu, podczas zwiększenia intensywności lub też tempa pracy, występuje wcześniej również u jednostek niewytrenowanych. Ten sam wymiar pracy wykonywany jest przez osobnika wytrenowanego z mniejszem, w porównaniu z niewytrenowanym, zadłużeniem tlenowem. Wysokość długu tlenowego, jaki może być w chwili potrzeby zaciągnięty przez osobnika wytrenowanego, jest znaczniejsza od tej, na jaką może liczyć osobnik mniej sprawny. Wymiar przeciętnej normy możliwego długu tlenowego wynosi u osobnika niewyćwiczonego około 0.1 ltr na 1 kg wagi ciała, wtenczas gdy osobnik wytrenowany zdolny jest do wysiłku, połączonego z zaciągnięciem długu tlenowego od 0.15 do 0.26 l, a nawet więcej na 1 kg wagi.

Podniesienie górnej granicy zaopatrzenia tlenowego u osobników wytrenowanych należy odnieść w pierwszym rzędzie do usprawnienia aparatu buforowego mięśni i krwi, odsuwających chwilę występowania następstw nagromadzenia kwaśnych przetworów, z towarzyszącem obniżeniem pH.

Czas wyrównywania długu tlenowego, pokrywającego się z odnową większej części wyczerpanych zapasów źródeł pracy mechanicznej, waha się, zależnie od rodzaju i trwania pracy, od kilku minut do paru godzin. Przebieg pochłaniania tlenu w okresie wypoczynku pozwala rozróżnić w procesie kompensacji zadłużenia tlenowego 2 okresy — ostry i powolny. Po początkowem doraźnem wyrównaniu powstałego podczas pracy niedoboru tlenowego, następuje okres kompensacji powolnej, uwidoczniony w trwającej ciągle nadwyżce pochłaniania tlenu ponad normę spoczynkową.

Stopniowe zmniejszenie pobierania tlenu w późniejszym okresie wypoczynku wskazuje na to, że po intensywnej przemianie kwasu mlekowego w mięśniach w pierwszych minutach wypoczynku następuje znacznie powolniejszy proces spalania kwasu mlekowego, dyfundującego w tym czasie z krwi. Według *Hill'a, Lupton'a* i *Long'a* [1], zużycie tlenu wyraża się w postaci krzywej logarytmicznej, od której nieco odbiega w późniejszych okresach wypoczynku.

Badanie procesów wypoczynkowych, dokonane przez *Gollwitzer-Meier* i *Simonson'a* [2] oraz *Hebestreit'a* [3], wykazały jednak, że przebieg zjawisk restytucji, nie będąc funkcją jednego procesu, jest bardziej złożony. Wspomniani badacze ustalili wyraźne odchylenia od podanej przez *Hill'a* krzywej, opierając się na danych doświadczalnych, które, będąc przeniesione na papier logarytmiczny, nie przedstawiają linji prostej, wyrażającej krzywą logarytmiczną.

Krzywa, skonstruowana przez *Simonson'a* i *Hebestreit'a,* ujawnia intensywniejszy spadek w pierwszych momentach restytucji, uwypuklając się bardziej ku dołowi w stosunku do logarytmicznej oraz przecinając ją w określonym momencie trwania wypoczynku,

---

[1] *Hill, Long* i *Lupton:* loc. cit. str. 395.
[2] *Gollwitzer-Meier, K.* u. *Simonson, E.:* Klin. Wschr. (1445). 1929.
[3] *Hebestreit, H.:* Pflüg. Arch. 222 (738). 1929.

uwypukla się ku górze. Powyższy przebieg nadaje krzywej kształt wyciągniętej litery S (rys. 56).

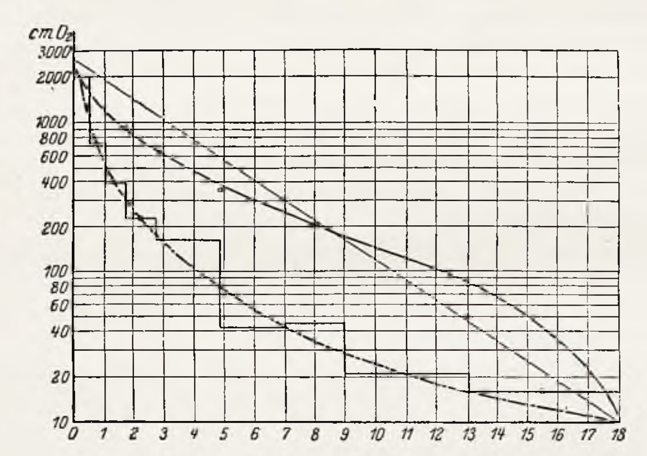
Krzywa zużycia O_2 w okresie wypoczynku nie przedstawia więc funkcji logarytmicznej, ale jest wyrazem nieco odmiennej funkcji matematycznej, wyrażonej równaniem:

$$\text{Cal A} = \text{Cal t} \,.\, {}_e\text{Rk} \,.\, \text{t}$$

gdzie Cal A przedstawia nadwyżkę energji zużytej podczas całego okresu wypoczynku. Cal t — nadwyżkę energji w mniejszym przedziale okresu wypoczynkowego, oraz Rk — stałą.

Stała Rk daje się również ująć wzorem matematycznym:

$$\text{Rk} = \frac{1}{t} \ln \frac{\text{Cal A}}{\text{Cal t}}$$



Rys. 56. Przebieg zużycia tlenu podczas wypoczynku, przedstawiony na papierze logarytmicznym. Krzywa przerywana w/g Hill'a. Krzywa tłusta w/g Simonson'a. Linja prosta wyraża funkcję logarytmiczną (Hebestreit).

Stała ta ilustruje szybkość spadku krzywej zużycia energji podczas wypoczynku, czyli jest wyrazem szybkości przebiegu restytucji („konstanta restytucji“ *Simonson'a* [1]). „Konstanta restytucji“ jest wielkością indywidualną dla każdego osobnika oraz jest zupełnie niezależną od wymiaru energji, zużytej podczas wypoczynku; natomiast pozostaje w pewnym związku z natężeniem pracy, w tem znaczeniu, że maleje wraz z jego wzrostem.

Wykazanie odchyleń krzywej zużycia O_2 od logarytmicznej, a tem samem od krzywej *Hill'a*, przemawia za tem, że przemiana oksydacyjna kwasu mlekowego w okresie wypoczynku nie jest procesem wyłącznym, ani też przebiega zupełnie równolegle do pobierania O_2, jak mniemali *Hill, Long* i *Lupton* [2].

[1] *Simonson, E.:* Pflüg. Arch. 214 (413). 1926; 215 (716). 1927.
[2] *Hill, Long* i *Lupton:* loc. cit. str. 395.

Dokonana przez *Hebestreit'a*[1] analiza matematyczna krzywej pobierania O_2, według *Hill'a*, oraz krzywej powrotu do normy (Rückstandkurwe), według *Simonson'a*[2], wykazała przedewszystkiem różnice punktów wyjścia, czyli wartości w okresie: t=O, t. zn. kiedy ustrój przechodzi ze stanu pracy do wypoczynku. *Hill*, wykreślając z danych przebiegu pobierania O_2 linję schodkowaną, konstruuje linję ciągłą, łącząc środkowe punkty poszczególnych schodków, co zasadniczo nie pozwala otrzymać krzywej matematycznej, odpowiadającej zasadniczej funkcji. *Simonson* przyjmuje natomiast jako punkt wyjścia krzywej wartość całkowitej nadwyżki energji, zużytej podczas wypoczynku, wyznaczając jednocześnie w zbliżonych do siebie odstępach wypoczynku stałe Rk (Rk_1, Rk_2, Rk_3 i t. d.), charakteryzujące szybkość spadku krzywej. Otrzymując tą drogą cały szereg blisko leżących punktów, wykreśla *Simonson* krzywą matematyczną o kształcie litery S, czyli odbiegającą od logarytmicznej.

Krzywe wentylacji i wydalania CO_2, skonstruowane przez *Hebestreit'a*, przypominają wprawdzie w pierwszych etapach wypoczynku krzywą logarytmiczną, jednak w późniejszym jego okresie, podobnie do funkcji pobierania tlenu, zwalniają spadek, zlekka uwypuklając się ku górze.

Na podstawie licznych obserwacyj *Simonson* i współpr. wnioskują, że „konstanta restytucji" (Rk), jako wyraz szybkości wyrównawczych procesów wypoczynkowych, może jednocześnie stanowić miernik wydolności fizycznej organizmu.

Przecząca koncepcji *Hill'a* rozbieżność pomiędzy przebiegiem spadku zużycia tlenu po ukończeniu pracy a zmniejszeniem zawartości kwasu mlekowego we krwi i tkankach wykazana została nadto przez *Martin'a*, *Field'a* i *Hall'a*[3], *Bang'a*[4], *Margaria*, *Edwards'a* i *Dill'a*[5], *Marschak'a*[6], *Evans'a* i *Eggleton'a*[7]. Usuwanie kwasu mlekowego czasami wyprzedza, czasem zaś opóźnia się w stosunku do wyrównania zużycia tlenu. W porównaniu z trwaniem zwiększonego pobierania tlenu usuwanie nadwyżki wyprodukowanego kwasu mlekowego trwa w większości przypadków dłużej. Brak równoległego przebiegu w czasie omawianych funkcyj wyklucza zatem możliwość przeprowadzenia bezwzględnej analogji pomiędzy przebiegiem procesów wypoczynku w ustroju z restytucją mięśnia izolowanego. Iloraz $\frac{\text{cały kw. mlek. usuwany}}{\text{kw. mlek. utleniany}}$, wyrażający szybkość

[1] *Hebestreit:* loc. cit. str. 395.
[2] *Simonson:* loc. cit. str. 423.
[3] *Marcin, E., Field, J.* a. *Hall, E.:* Amer. Journ. Physiol. 88 (407). 1929.
[4] *Bang, O.:* Arbeitsphysiol. 7 (544). 1934.
[5] *Margaria, R., Edwards, H.* a. *Dill, D.:* Amer. Journ. Physiol. 106 (689). 1933.
[6] *Marschak:* loc. cit. str. 421.
[7] *Eggleton,* a. *Evans, L.:* Journ. of Physiol. 70 (269). 1930.

przemiany kw. mlekowego oraz wahający się według *Hill — Meyerhof'a* [1] około 5.2, jest dla całego ustroju w rzeczywistości niższy. Nie cała bowiem a tylko część nadwyżki tlenu okresu wypoczynkowego zużywa się na oksydacyjną przemianę kwasu mlekowego. Ilość pobieranego tlenu w pierwszych minutach po ukończeniu pracy przewyższa ilość tlenu, niezbędną do przemiany kwasu mlekowego według reakcji *Meyerhof'a.* Natomiast w późniejszym okresie restytucji ilość pobieranego tlenu nie zawsze wystarcza na utlenianie kwasu mlekowego. Dług tlenowy w wysokości do 3 — 4 l, powstający podczas umiarkowanej dłuższej pracy, również nie pokrywa się z minimalnym a czasem zupełnie brakującym wzrostem zawartości kwasu mlekowego we krwi *(Owles* [2], *Dill, Edwards* i współpracownicy [3]).

Do innych faktów, przeczących teorji długu tlenowego według *Hill'a* należy opóźnienie oksydacyjnej likwidacji kwasu mlekowego na początku wypoczynku, które może przeciągnąć się po wyczerpującej pracy u człowieka nawet do 15 min. Opóźnienie utleniania kwasu mlekowego, przypadające na okres szybkiego wyrównania większej części długu tlenowego, potwierdza powolność dyfuzji kwasu mlekowego z mięśni do krwi *(Margaria, Edwards* i *Dill* [4]*).* Z drugiej strony część tego opóźnienia, tak jak to stwierdzono dla mięśnia izolowanego, może pochodzić z przedłużenia produkcji pewnej frakcji kwasu mlekowego po ukończeniu pracy *(Hartree* [5], *Lundsgaard* [6], *Margaria* i *Edwards* [7]).

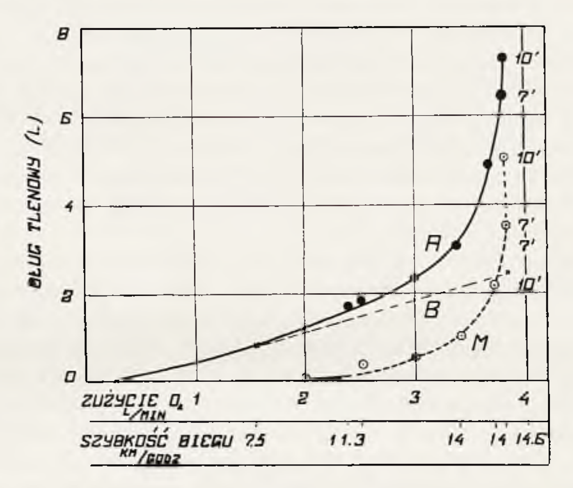
W świetle powyższych faktów należy przypuszczać, że natężenie zużycia tlenu w okresie wypoczynku jest wykładnikiem współdziałania kilku procesów nie zaś wyłącznie przemiany kwasu mlekowego. Ta ostatnia wysuwa się na czoło, prawdopodobnie, po pracy intensywnej, podnoszącej zużycie O_2 przeciętnie do 2 — 4 l na min i wyżej. Natomiast w warunkach pracy umiarkowanej w mechanizmie powstania długu tlenowego większą rolę odgrywają, przypuszczalnie, inne procesy niezależne od produkcji i usuwania kwasu mlekowego. Według *Margaria, Edwards'a* i *Dill'a* część długu tlenowego (alactacid) pokrywa o wiele przebiegające szybciej (około 5 min) procesy oksydacyjnej resyntezy innych związków, biorących udział w przemianie pośredniej (Rys. 57).

Częściowa tylko rola kwasu mlekowego w zjawiskach wyrównania długu tlenowego wydaje się też zależeć od udziału wątroby w usuwaniu dużej części kwasu, nie ulegającego spalaniu w mięśniach a dyfundującego podczas wypoczynku do krwi *(J. Sacks* i *A. Sacks* [8]*).*

---

1 *Hill, A.:* Physiol. Review. XII. Nr. 1 (56). 1930.
2 *Owles, W.:* Journ. of Physiol. 69 (214). 1930.
3 *Dill, D., Talbott, J.* a. *Edwards, H.:* Journ. of Physiol. 69 (267). 1930.
4 *Margaria, Edwards* i *Dill:* loc. cit.
5 *Hartree, W.:* Journ. of Physiol. 75 (273). 1932.
6 *Lundsgaard, E.:* Biochem. Zschr. 233 (322). 1931.
7 *Margaria, R.* a. *Edwards, H.:* Amer. Journ. Physiol. 107 (681). 1934.
8 *Sacks, J.* a. *Sacks, A.:* Amer. Journ. Physiol. 111. 1935.

Resyntezę glikogenu w wątrobie z wytwarzanego w mięśniach kwasu mlekowego, jako zasadniczego czynnika w procesach likwidacji pozostałości pracy, potwierdzają badania *Janssen'a* i *Jost'a* [1], *Embdena* i *Ferguson'a* [2] oraz *Cordier'a* i *Magne'a* [3].



Rys. 57. Krzywa M — dług tlenowy pozostający w związku z przemianą kwasu mlekowego. Krzywa B — dług tlenowy pokrywający inne przemiany w mięśniach. A — całkowity dług tlenowy (Margaria, Edwards i Dill).

Wyżej przytoczone dane doświadczalne nagromadzają coraz więcej przekonywujących dowodów o niewystarczalności interpretacji zjawisk wypoczynku wyłącznie procesem przemiany nadwyżki kwasu mlekowego, wytwarzanego podczas pracy. Sprowadzenie całości mechanizmu restytucji do uzupełnionego nawet schematu likwidacji zmian biochemicznych i fizykochemicznych, wywołanych niedoborem tlenowym podczas pracy, analogicznie do następstw anaerobowego okresu czynności mięśnia izolowanego, byłoby zbytnio jednostronne.

Doraźne przestrojenie dynamiki ustroju podczas wysiłku fizycznego łączy się z wytrąceniem całego szeregu układów fizjologicznych ze stanu równowagi, cechującej stan spoczynku. Wewnętrzna organizacja tych procesów, nie ograniczając się do zmian natężenia przemiany na odcinku układu ruchowego, oparta jest na współdziałaniu czynników regulacji nerwowej i hormonalnej. Te ostatnie odbijają się na stanie funkcjonalnym innych narządów, bezpośrednio w pracy niezaangażowanych. W omawianym zespole funkcjonalnym dużą rolę odgrywają wreszcie adaptacyjne zmiany termoregulacji i gospodarki wodnej ustroju. Wyrównanie stanów, cechu-

---

1 *Janssen, S.* u. *Jost, H.:* Hoppe-Seylers. 2. 148 (41). 1925.
2 *Embden, G.* u. *Ferguson, K.:* Pflüg. Arch. 233 (195). 1929.
3 *Cordier, D.* et *Magne, H.:* C. R. de Soc. Biol. III. (829). 1929.

jących okres wykonywania pracy, odbija się zapewne na przebiegu krzywej wydatku energetycznego podczas wypoczynku.

Omawiane wpływy, modyfikujące energetykę okresu wypoczynkowego, odgrywają szczególną rolę przy rodzajach pracy długotrwałej o względnie niewysokim koszcie energetycznym. Dlatego też natężenie oksydacyj podczas wypoczynku po tych wysiłkach nie pokrywa się w całej pełni ze schematem mechanizmu długu tlenowego w koncepcji *Hill'a*. Odwrotnie—nasilenie wydatku energetycznego po omawianych rodzajach pracy długotrwałej nie jest bezwzględnym sprawdzianem stanu fizycznego osobnika, lub też stopnia jego zmęczenia.

Wydalanie CO_2 i iloraz oddechowy.

Wydalanie dwutlenku węgla podczas pracy mięśniowej stanowi, za małemi wyjątkami, linijną funkcję wentylacji płuc. Ilość wydalanego dwutlenku węgla uzależniona jest zarówno od wydolności wentylacji, jak i intensywności procesów oksydacyjnych w tkankach. Natężenie tych procesów jest do pewnego stopnia wykładnikiem wielkości pracy oraz sprawności osobnika pracującego. Przy przejściu od stanu spoczynku do intensywnej pracy, zasoby rozporządzalnego CO_2 w ustroju ulegają zazwyczaj stopniowemu zmniejszeniu, t. zn., w porównaniu z szybkością jego produkcji, większe ilości CO_2 są wydalane w płucach. Prężność CO_2 we krwi oraz w pęcherzykach płucnych ulega obniżeniu, które może dochodzić nawet do $\frac{1}{2}$ poziomu normy. Natomiast na początku forsownych wysiłków oraz przy krótkim czasie ich trwania występuje, przeciwnie, wzrost prężności CO_2 we krwi. Prężność CO_2 w mieszanej krwi żylnej może wahać się podczas tego rodzaju pracy od 63 do 75 mmHg. Po biegach 100 i 200 m wzrost ciśnienia CO_2 w pęcherzykach płucnych może dochodzić do 60 mmHg, a nawet wyjątkowo do 80 mmHg (*Herxheimer* [1]).

Zwiększone wydalanie CO_2 przed pracą i w jej wczesnych okresach może posiadać cechy swoistego mechanizmu adaptacyjnego. Wypłókiwanie większej ilości CO_2, łącznie z tendencją przesunięcia oddziaływania krwi w kierunku alkalozy, stanowi, prawdopodobnie, okoliczność sprzyjającą, zapobiegając ostrym następstwom szybkiego przechodzenia kwasu mlekowego do krwi.

Wydalanie CO_2 podczas pracy nie może być miarą jego produkcji. *Speck* po raz pierwszy wskazuje na zachodzący podczas pracy proces wypłókiwania CO_2 ze krwi. Zasadniczem źródłem nadmiaru wydalanego CO_2 jest rezerwa tego związku w postaci dwuwęglanów (głównie jako $NaHCO_3$ i $KHCO_3$), z których wyrugowują go nagromadzające się kwaśne produkty przemiany. Tylko nieznaczna część dwutlenku węgla pochodzi z procesów oksydacyjnych, odbywających się podczas samej pracy.

---

[1] *Herxheimer, H.:* Zschr. klin. Med. (103). 1926.

Wobec dysproporcji pomiędzy wydalaniem a produkcją CO_2, wyzyskanie zmian ilorazu oddechowego, jako miary natężenia procesów przemiany materji w ustroju *(Zuntz*[1]), nasuwa duże trudności. Wyłaniają się one dlatego, że iloraz oddechowy jest wykładnikiem procesów złożonych. Z jednej strony jest on wypadkową każdorazowej przewagi udziału w przemianie tej albo innej podstawowej substancji odżywczej, z drugiej strony reaguje czule na zmiany zespołu reakcyj, utrzymujących równowagę fizyko-chemicznej dynamiki ustroju. Przy zmianach funkcjonalnych, jakie powoduje praca, labilna wartość ilorazu oddechowego jest w większym stopniu uzależniona od stanu wentylacji płuc i powinna być rozpatrywana raczej jako miernik bilansu wymiany gazowej.

Dlatego też nie bez uzasadnienia jest oznaczanie ilorazu oddechowego (RQ) okresu pracy i wypoczynku jako ilorazu rzekomego *(Hill*[2], *Simonson*[3]).

Należy przypuszczać, że tylko w wyjątkowych przypadkach, a więc podczas pracy umiarkowanej, dokonywanej w warunkach steady state, wartość ilorazu oddechowego pracy może odpowiadać wartości ilorazu istotnego, wskazując na przewagę spalania tego lub innego rodzaju substancyj odżywczych *(Bock, Dill* i współpr.[4], *Simonson).* Wzrost wydalania CO_2 przy zwiększeniu wentylacji płuc wyklucza tę możliwość. Według *Bierring'a*[5] spadek zawartości CO_2 we krwi rozpoczyna się przy pracy, podnoszącej zużycie O_2 do 1400 cm^3/min. Iloraz oddechowy, odpowiadający pracy o intensywności, która przekracza wskazaną granicę wzrostu zużycia O_2, nie jest już wskaźnikiem metabolizmu ciał pokarmowych.

Przy porównaniu zmian ilorazu oddechowego podczas pracy daje się zauważyć, że wahania RQ, zależne od rodzaju pracy i stanu wytrenowania, pozostają w związku ze stanem RQ spoczynkowego. Zależność nieznacznych wahań ilorazu oddechowego podczas pracy umiarkowanej w stosunku do jego poziomu wyjściowego ujawnia się w lekkiem obniżeniu ilorazu, o ile był wysoki ($RQ > 0.91$), i odwrotnie — w podniesieniu go przy ilorazie spoczynkowym poniżej 0.91 *(Krogh* i *Lindhard*[6], *Bierring, Missiuro* i *Szulc*[7]*).*

Przy pracy umiarkowanej (z 4 — 5-krotnym wzrostem zużycia O_2), wytwarzającej warunki do steady state, RQ naogół bardzo nieznacznie różni się od swej wartości spoczynkowej, wahając się w granicach od 0.80 do 0.90 *(Zuntz*[8], *Krogh* i *Lindhard, Bierring). Krogh* i *Lindhard* wnioskują stąd, że podczas tego rodzaju pracy stosunek zużywanych tłuszczów i węglowodanów pozostaje ten sam,

---

[1] *Zuntz, N.* u. *Trendelburg-Loewy:* Lehrb. d. Physiol. (272). 1924.
[2] *Hill, A.:* loc. cit. str. 425.
[3] *Simonson, E.:* w Hndb. (Bethe). str. 395.
[4] *Bock, A., Dill, D.* i inn.: loc. cit. str. 415.
[5] *Bierring, E.:* Arbeitsphysiol. 5 (17). 1931—32.
[6] *Krogh, A.* a. *Lindhard, J.:* Biochem. Journ. 14 (290). 1920.
[7] *Missiuro, W.* i *Szulc, G.:* loc. cit. str. 397.
[8] *Zuntz:* Pflüg. Arch. 83 (557). 1901.

co w spoczynku, oraz zależny jest od każdorazowego stanu rezerw tych ciał w ustroju.

Przejście ze stanu spoczynku do pracy łączy się w normalnych warunkach (przy RQ około 0.85) najczęściej z nieznacznem podniesieniem RQ, poczem dopiero następuje jego obniżenie do stałego poziomu, odpowiadającego warunkom steady state *(Lindhard* [1], *Bierring)*. Przemijający wzrost RQ na początku pracy jest w tym przypadku następstwem przewagi wzrostu wydalania CO_2 w stosunku do ilości pobieranego O_2 podczas nagłego zwiększenia wentylacji. Obok powyższej reakcji opisywane są występujące niekiedy przypadki obniżenia RQ *(Magne* [2]*)*.

Przedłużenie trwania pracy lekkiej lub umiarkowanej wpływa niekiedy na nieznaczne obniżenie RQ w końcowych etapach pracy. Przy postępującem znużeniu może wystąpić w dalszych okresach pracy ponowny wzrost RQ.

Wybitniejsze oraz bardziej zdecydowane zmiany RQ występują przy zwiększeniu intensywności pracy. Większość obserwacyj zgodnie wskazuje, że podniesieniu natężenia pracy,wykonywanej w warunkach steady state, towarzyszy wzrost RQ *(Benedict* i *Cathcart* [3], *Dill, Bock* i współpr. [4], *Christensen* [5], *Magne, Kagan* i *Kaplan* [6], *Simonson* [7]*)*.

Stopień podniesienia RQ, zbliżającego się do jedności, jest w większości przypadków tem większy, im cięższa jest praca. Przy pracy najbardziej intensywnej, jaka może być wykonywana w stanie steady state, RQ nie wzrasta jednak powyżej 1. Najbardziej jaskrawym dowodem powyższej reguły może być RQ, utrzymujące się poniżej 1 przy zużyciu O_2, dochodzącem w doświadczeniach *Christensen'a* do 4.7 l/min. Warunki wymiany oddechowej podczas omawianej pracy przemawiają, według *Christensen'a*, za tem, że uzyskane wysokie wartości RQ nie odpowiadają istotnemu natężeniu funkcji metabolizmu, stanowiąc RQ rzekome.

Krańcowych przykładów wzrostu ilorazu oddechowego dostarczają krótkotrwałe wysiłki o znacznej intensywności. W świetle wyników badań *Hill'a* [8] i jego szkoły iloraz oddechowy podczas tych wysiłków dochodzi do jedności. Przy wyjątkowo forsownych wysiłkach, doprowadzających do wyczerpania, RQ znacznie przekracza 1, dochodząc do 1.30 — 1.70 (jako specyficzne RQ pracy —

$$\frac{\text{nadwyżka wydal. } CO_2}{\text{nadwyżka pobier. } O_2}$$

[1] *Lindhard, J.:* Skand. Arch. Physiol. 54 (79). 1928.
[2] *Magne, H.:* loc. cit. str. 397.
[3] *Benedict, F.* a. *Cathcart, E.:* loc. cit. str. 414.
[4] *Dill, Bock* i współpr.: loc. cit. str. 415.
[5] *Christensen, H.:* loc. cit. str. 415.
[6] *Kagan, E.* i *Kaplan, P.:* loc. cit. str. 416.
[7] *Simonson, E.:* loc. cit. str. 395.
[8] *Hill, A.:* loc. cit. str. 425.

podczas pracy, w badaniach *Best'a, Furusawy* i *Ridout'a* [1]), a nawet do 2.0 (*Furusawa* [2], *Herxheimer* [3]).

Wzrost ilorazu oddechowego do jedności podczas krótkiej intensywnej pracy wskazywałby, że głównego źródła energji przy tego rodzaju wysiłkach dostarczają węglowodany (*Hill, Furusawa*). Obserwacje częstego wzrostu RQ powyżej jedności wykluczają natomiast możliwość rozpatrywania RQ jako miary bilansu przemiany. Należy tłumaczyć je następstwami doraźnych zmian biochemizmu tkanek, wzgl. wypłókiwania CO_2 przy wzmożonej wentylacji płuc. Podobnie przypadki obniżenia RQ przy przedłużeniu intensywnej pracy, jak również przy wzrastającem znużeniu, należy przyjmować z dużą oględnością za wskaźnik rozpoczynającego się wyzyskiwania tłuszczów i białek po znaczniejszem wyczerpaniu zapasów węglowodanowych (*Herbst* i *Nebuloni* [4], *Zuntz* i *Schumburg* [5], *Simonson* [6], *Edwards, Margaria, Dill* [7]).

Trudność wnioskowania o istotnych zmianach metabolizmu podczas pracy z danych wielkości ilorazu oddechowego powstaje zarówno wobec faktu zwiększania wydalania CO_2 przy przechodzeniu do krwi kwaśnych przetworów przemiany, jak i wzrostu wrażliwości ośrodka oddechowego, modyfikującego natężenie wymiany gazowej.

Większa stałość ilorazu oddechowego jest prawdopodobnie jednym z przejawów dobrego stanu wytrenowania (*Krogh* i *Lindhard* [8], *Herxheimer* [9], *Bock, Dill* i współpr. [10]). Wzrost RQ u osobników niewytrenowanych powstaje w następstwie znaczniejszej, a jednocześnie mniej efektywnej wentylacji płuc (*Magne* [11], *Bock* i *Dill* i współpr., *Christensen* [12], *Kagan* i *Kaplan* [13]). Według *Bierring'a* [14] wzrost RQ występuje z chwilą, kiedy intensywność pracy zaczyna przekraczać wydolność układu krążenia i oddychania.

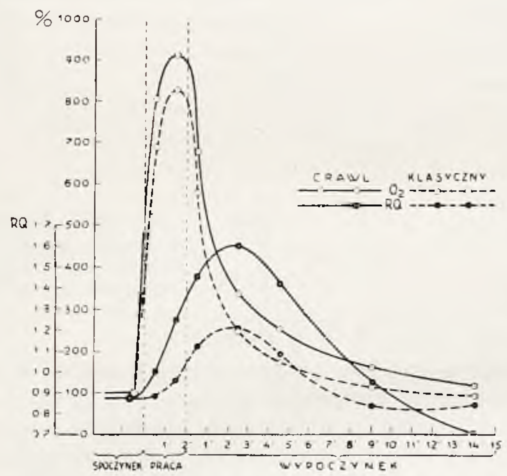
Przypadki obniżenia RQ po krótkich intensywnych wysiłkach, dokonywanych przez jednostki wytrenowane, nasuwa przypuszczenie występowania po treningu sui generis uodpornienia ośrodka oddechowego na często powtarzające się w czasie treningu oddziaływania zmian równowagi zasadowo-kwasowej we krwi. Zmniejszenie wrażliwości ośrodka oddechowego wytwarza przytem stan bardziej ekonomicznej wentylacji płuc podczas pracy.

---

[1] *Best, C., Furusawa, K.* a. *Ridout, J.:* Proc. Roy Soc. B. 104 (119). 1929.
[2] *Furusawa:* Proc. Roy. Soc. B. 98 (287). 1925.
[3] *Herxheimer, H.:* loc. cit. str. 427.
[4] *Herbst* i *Nebuloni:* loc. cit. str. 403.
[5] *Zuntz* i *Schumburg:* loc. cit. str. 413.
[6] *Simonson:* loc. cit. str. 395.
[7] *Edwards, Margaria* i *Dill:* loc. cit. str. 424.
[8] *Krogh i Lindhard:* loc. cit. str. 394.
[9] *Herxheimer:* loc. cit. str. 413.
[10] *Bock, Dill* i współpr.: loc. cit. str. 415.
[11] *Magne, H.:* loc. cit. 397.
[12] *Christensen:* loc. cit. str. 415.
[13] *Kagan* i *Kaplan:* loc. cit. str. 416.
[14] *Bierring, E.:* loc. cit. str. 428.

Wydalanie CO_2, decydujące podczas pracy o zmianach RQ oraz uzależnione od wentylacji płuc, jest funkcją bardzo labilną, a więc ulegającą, poza innemi czynnikami, najłatwiej wpływom neurogenicznym. Powyższem należy też tłumaczyć wahania oraz obserwowany często wyraźniejszy wzrost RQ w warunkach steady state przy pracy dłuższej.

Podobnie do zmian całokształtu metabolizmu oddechowego, wydalanie CO_2 przebiega odmiennie w okresach początkowym i późniejszym wypoczynku. Spadek natężenia wymiany gazowej bezpośrednio po pracy odznacza się zwiększeniem dysproporcji pomiędzy zużyciem tlenu a wydalaniem dwutlenku węgla. W porównaniu z przebiegiem podczas pracy, zarówno produkcja, jak i wydalanie CO_2 ulegają w początkowym okresie wypoczynku mniejszym oraz powolniejszym zmianom w stosunku do spadku wentylacji płuc i zużycia O_2.



Rys. 58. Zużycie O_2 i zmiany RQ podczas pływania. Krzywa górna RQ — zmiany podczas i po pływaniu crawlem. Krzywa dolna RQ — zmiany podczas i po pływaniu stylem klasycznym (S c h m e l k e s).

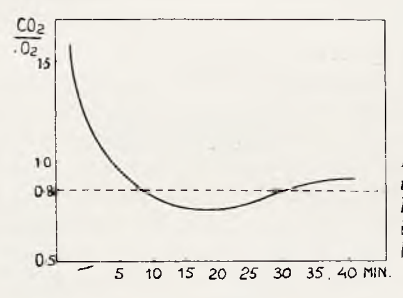
Zjawiska te są pogłębiane przez jednoczesny spadek wydolności funkcji wyzyskiwania O_2 powietrza oddechowego. Bardziej powolne obniżenie wydalania CO_2 w pierwszych momentach po ukończeniu pracy wiąże się, w świetle teorji *Hill'a*, z przechodzeniem w tym okresie z mięśni do krwi kwasu mlekowego, wypierającego CO_2 z dwuwęglanów. Wzmożone i szybkie wydalanie nadmiaru uwalnianego CO_2 pozwala ustrojowi wyrównać oddziaływanie krwi pomimo przejścia do niej znaczniejszej ilości kwasu mlekowego.

Wskazane zjawiska sprawiają, że iloraz oddechowy, ulegający podczas pracy stosunkowo nieznacznym wahaniom, wzrasta w pierwszych minutach wypoczynku nawet powyżej jedności (*Katzenstein* [1], *Loewy* [2], *Krogh* i *Lindhard* [3] i inn.).

[1] *Katzenstein:* loc. cit. str. 416.
[2] *Loewy, A.:* Pflüg. Arch. 49 (422). 1891.
[3] *Krogh* i *Lindhard:* loc. cit. str. 428.

Podobnie w badaniach *Schmelkesa* [1], dokonanych ostatnio w naszej pracowni, wartość RQ w 3 — 5 min po przepłynięciu 80 m w ciągu 2 min dochodzi do 1.87. Wykres, zaczerpnięty z tych badań (rys. 58), uwydatnia charakterystyczne różnice wzrostu RQ zależnie od intensywności wysiłku. Pływanie crawlem powoduje w pierwszym okresie wypoczynku znaczniejszy wzrost RQ w porównaniu z wartością jego po przepłynięciu tej samej odległości stylem klasycznym, który odznacza się mniejszym o 30% wydatkiem energetycznym (przy szybkości około 40 m/min).

Zmiany RQ podczas wypoczynku są tem większe, im znaczniejszy jest wzrost stężenia kwasu mlekowego we krwi. W przypadkach pracy szczególnie forsownej iloraz oddechowy może nawet przekraczać 2.0 (*Hill, Long* i *Lupton* [2], *Herxheimer* i *Kost* i inn. [3]). Wzrost ilorazu oddechowego w omawianym okresie wypoczynku jest wybitniejszy po pracy statycznej, w porównaniu z dynamiczną (*Dusser de Barenne* i *Burger* [4]). Osiągnięcie maksymalnego wzrostu RQ następuje w 1 — 3 min po pracy umiarkowanej oraz w 3 — 5 min po wysiłkach intensywnych.



Rys. 59. Zmiany RQ w okresie wypoczynkowym po krótkim intensywnym wysiłku (Missiuro).

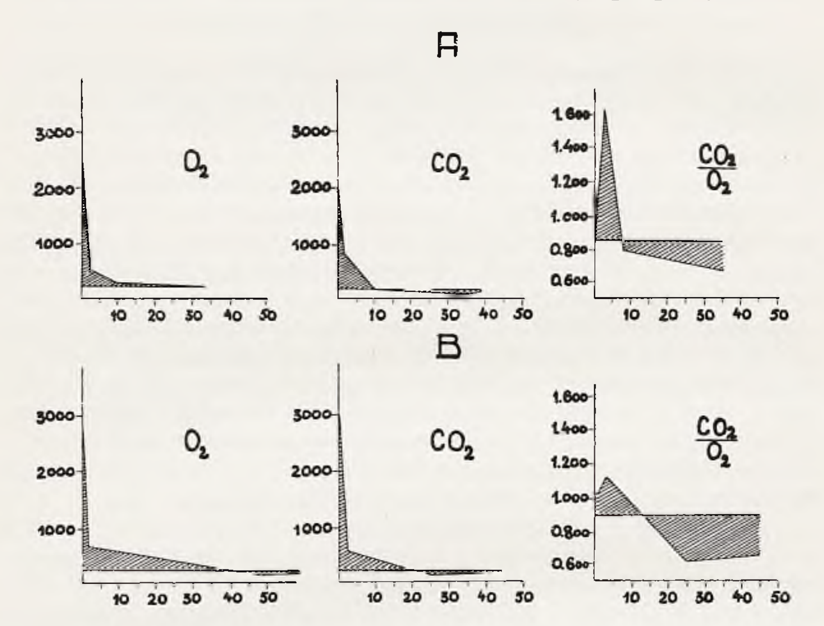
Lepsza forma treningowa idzie w parze z mniej znacznym wzrostem ilorazu oddechowego w pierwszym okresie wypoczynku. Zjawisko to pokrywa się z bardziej zaznaczonym spadkiem wentylacji płuc u osobników lepiej wytrenowanych oraz wskazuje pośrednio na mniejsze zakłócenie równowagi kwasowo-zasadowej we krwi.

W przeciwieństwie do pierwszego, w drugim okresie powolniejszych procesów wypoczynkowych następuje, równolegle do przywracania normalnego pH krwi, stopniowe ograniczenie ilości wydalanego CO_2. Iloraz oddechowy, znacznie przekraczający jedność w pierwszych minutach wypoczynku, spada z reguły poniżej wartości spoczynkowej, dochodząc do 0.7 — 0.5. Po biegach 200—400 m *Schenk* i *Stahler* [5] obserwowali obniżenie RQ nawet do 0.41. Analogiczne spostrzeżenia spotykamy u *Matthies'a* [6] po wysiłkach kolarskich.

---

[1] *Schmelkes:* loc. cit.
[2] *Hill, Long* i *Lupton:* loc. cit. str. 395.
[3] *Herxheimer* i *Kost:* loc. cit. str. 393.
[4] *Dusser de Barenne* i *Burger:* loc. cit. str. 401.
[5] *Schenk, P.* u. *Stähler, F.:* Zschr. exper. Med. 67 (45). 1929.
[6] *Matthies:* Pflüg. Arch. 27. 1931.

Powyższe zjawiska wskazują, że przez ograniczenie wydalania CO_2 ustrój zapobiega nowym wahaniom reakcji krwi, jakie mogą być wywołane przez znaczne ilości zasad, uwalnianych równolegle do postępującej przemiany kwaśnych przetworów pracy. Po początkowem kompensacyjnem wypłókaniu CO_2 z ustroju, wytwarzają się w drugim okresie wypoczynku przemijające warunki uzupełniania wyczerpanych zapasów tego związku drogą odpowiedniego zmniejszenia wydalania go przez płuca. Wskazany mechanizm stanowi zasadnicze podłoże obniżenia ilorazu oddechowego po pracy krótko-



Rys. 60. Wymiana oddechowa w okresie wypoczynkowym (po biegach kolarskich). A — po sprincie, B — po biegu 10 km. Większe obniżenie RQ po biegu 10 km (Missiuro i Szulc).

trwałej. Natomiast niski stan RQ, utrzymujący się po 24 — 48 godz wypoczynku po wysiłkach długotrwałych (np. 3-dniowy przebieg narciarski), należy w głównej mierze tłumaczyć wywołaną przez pracę redukcją rozporządzalnych rezerw węglowodanowych przy zwiększonej mobilizacji przemiany tłuszczów, wzgl. ciał białkowych (*Missiuro* [1]).

Z chwilą likwidacji całej ilości wytworzonych podczas pracy kwaśnych przetworów przemiany oraz z ustaniem uwalniania związanych z niemi zasad, przywraca się normalny poziom wydalania CO_2 z równoległem zbliżeniem się ilorazu oddechowego do jego wartości spoczynkowej.

---

[1] *Missiuro, W.:* loc. cit. str. 410.

OCENY KSIĄŻEK

E. PIASECKI — ZARYS TEORJI WYCHOWANIA FIZYCZNEGO.
(Wydanie drugie. Lwów. Wyd. Zakł. Narod. im. Ossolińskich. 1935).

Potrzeba szybkiego zasilenia półek księgarskich nowem wydaniem „Zarysu teorji wychowania fizycznego" po wyczerpaniu wydania pierwszego jest najlepszym dowodem wartości książki. Świadczy jednocześnie o żywotności zagadnienia wychowania fizycznego jako jednego z zasadniczych środków podniesienia biologicznej wartości narodu. „Zarys teorji w. f." skreślony mistrzowską ręką najwybitniejszego u nas znawcy przedmiotu jest monografją, przedstawiającą zarówno najważniejsze etapy ewolucji ideologji i metod wychowania fizycznego, jak również syntezą bogatego dorobku naukowego danej dziedziny. Trzymając rękę na pulsiie poczynionych w latach ostatnich postępów wiedzy o człowieku, autor aktualizuje treść niektórych rozdziałów monografji wprowadzeniem szeregu uzupełnień. Z tych ostatnich należy podkreślić szczególną aktualną dla pracy w terenie rozszerzenia danych z zakresu fizjologji żywienia. Duży rozdział energetyki pracy mięśniowej uwzględnia najnowsze zdobycze, dotyczące zarówno procesów biochemizmu mięśni czynnych, jak i próby wejrzenia w istotę źródeł energji mięśniowej przy różnych postaciach pracy fizycznej.

W omówieniu adaptacyjnych mechanizmów funkcji krążenia i przejawu rozszerzenia serca podczas i po pracy, autor udziela miejsca zjawisku powysiłkowego zmniejszenia serca opisanemu między innemi i przez autorów polskich. Nowością jest też podrozdział o „działaniu (ćwiczeń) na inne organa" z szczególnem uwzględnieniem ważniejszych faktów w zakresie zmian we krwi występujących po wysiłkach.

Wyłożenie mechanizmów fizjologicznych pracy fizjopatologji zjawisk zmęczenia i treningu, jak również dalsza analiza wpływów poszczególnych rodzajów ćwiczeń fizycznych nacechowane są nieprzeciętną sztuką wyzyskania wielokierunkowego oraz obfitego dorobku naukowego doby współczesnej. Całość, stanowiąca doskonałą syntezę dotychczasowego stanu wiedzy o możliwościach i środkach urabiania tężyzny fizycznej osobnika, nadto zaznajamia czytelnika z temi odrębnościami grup i jednostek, które nasuwają szczególną potrzebę indywidualizacji zabiegów wychowawczych.

W epoce intensywnych wysiłków nad odbudową nadszarpniętych w okresie powojennym i pokryzysowym walorów fizycznych i moralnych społeczności, monografja prof. Piaseckiego przedstawia nietylko cenny wkład naukowy i kulturalny. Jest ona jednocześnie realną odskocznią i drogowskazem dla wyszkolenia oraz rzeczowej pracy wszystkich, którzy powołani są do czuwania nad przyszłością rosnących pokoleń.

W. Missiuro.

STRESZCZENIA

OGÓLNA I SZCZEGÓŁOWA FIZJOLOGJA PRACY MIĘŚNIOWEJ

G. P. CROWDEN. — WZGLĘDNY WYDATEK ENERGETYCZNY PODCZAS ĆWICZEŃ CIELESNYCH WYKONYWANYCH NA POWIETRZU I W WODZIE. (Journ. of Physiol. V. 84. 1935).

Stopniowe wykonywanie ćwiczeń cielesnych w wodzie często stanowi szablonowe leczenie zesztywniałych ścięgien i mięśni w instytucjach hydroteraupetycznych w przypadkach chronicznego reumatyzmu. Biorąc pod uwagę, iż pomimo zanikania początkowego efektu korzystnego, zdarzają się wypadki częstej poprawy autor postanowił skontrolować cały system ćwiczeń uprawianych przez pewnego Włocha przy zanurzeniu ciała aż po szyję w wodzie. Wykonywanie ćwiczeń w wodzie mogłoby stanowić system leczenia domowego, któreby umożliwiło pacjentowi utrzymanie zdolności do ruchu mięśni i ścięgien bez zbytniego wysiłku.

Wstępne doświadczenia wykazały, że osoba badana, która była całkowicie wyczerpana po 2-minutowych ćwiczeniach na powietrzu, wykonywała te same ćwiczenia bez większego wysiłku w wodzie. Dalsze badania prowadzone w tym kierunku na klinice reumatycznej potwierdziły powyższe obserwacje.

Dane dotyczące wysokości wydatku energetycznego wykazują, że zużycie tlenu podczas zwykłego zginania kończyny górnej lub dolnej na powietrzu wynosi 2147 cm^3, w wodzie — 1172 cm^3. W zależności więc od środowiska powietrznego, czy wodnego zużycie tlenu dla tego samego ćwiczenia wzrasta w stosunku 1 : 2. Podczas ćwiczeń innego typu, jak podnoszenie i opuszczanie tułowia, zużycie tlenu na powietrzu wynosi 3470 cm^3, w wodzie — 1190 cm^3. W danym wypadku zależnie od środowiska zużycia tlenu wzrasta w stosunku 1 : 3 dla tego samego ćwiczenia.

Wobec powyższego należy przyjąć, że osoby posiadające słabo rozwinięty układ krążeniowy, czy też oddechowy i niezdolne do wykonywania na powietrzu nawet ćwiczeń o umiarkowanem natężeniu mogą być zdolne do tych samych ruchów mięśni ścięgien w wodzie, która odgrywa rolę czynnika zmniejszającego pracę konieczną do pokonania siły przyciągania ziemskiego, występującego przy każdem podnoszeniu kończyn i tułowia.

Należy się spodziewać, że przez systematyczne wykonywanie ćwiczeń w środowisku wodnem osoby, które cierpiały na reumatyzm względnie na jakąkolwiek z jego form, mogą uzyskać całkowitą zdolność ruchów.

A. Perlberg.

S. BRANDIS, Z. GORKIN, M. GORKIN i A. POZNER. — FIZJOLOGICZNA ANALIZA ĆWICZEŃ FIZYCZNYCH.

(Fizjoł. Żurn. S. S. S. R. T. XVIII. 1935).

Badania wykonane zostały we Wszechukraińskim Instytucie Patologji i Higjeny Pracy. Celem autorów było wyświetlenie zjawisk fizjologicznych, towarzyszących najbardziej typowym ćwiczeniom fizycznym i zbadanie wpływu różnych ich zespołów przy zmieniającym się układzie. W badaniach stosowano następujące ćwiczenia: „rąbanie drzewa" (ruchy złączonych rąk przy szerokim rozmachu całego tułowia), skłony przy jednoczesnem dotykaniu ręką przeciwległej nogi, przysiady, ćwiczenia nóg, ćwiczenia rąk i nóg, ćwiczenia ogólne rozluźniające i t. d.

Badania przeprowadzono na trzech młodych i zdrowych osobach. Wymianę gazową oznaczano metodą Douglasa, ciśnienie krwi mierzono podług Korotkowa.

Wyniki badań wykazały, że:

1. Wydajność pracy można zwiększyć przez stosowanie wolnych ćwiczeń.

2. Bardziej wartościowemi z fizjologicznego punktu widzenia okazały się ćwiczenia wykonywane bez zatrzymywania oddechu, wywołujące efektywną wentylację i niewysokie zużycie tlenu. Za kryterjum wartości ćwiczenia należy przyjąć nie stopień zużycia tlenu, lecz wielkość niedoboru tlenowego.

3. Dla podniesienia wydajności pracy należy stosować wolne ćwiczenia, nie powodujące większych zmian w krążeniu krwi i nie hamujące mechaniki oddychania. Od tych dwóch czynników zależy bowiem współczynnik niedoboru tlenowego.

4. Ćwiczenia powodujące większe zmiany w krążeniu krwi i oddychaniu mogą być stosowane jedynie w warunkach pracy związanej z długotrwałem utrzymaniem ciała w nienaturalnej pozycji oraz przy pracy, w której dominują momenty statyczne. Ponieważ porównywane były ze sobą ćwiczenia wykonywane w różnem tempie i trwające niejednakowy okres czasu, autorzy chcąc wyeliminować wpływ czasu trwania ćwiczenia na zużycie tlenu uwzględniają nie absolutne wartości absorpcji tlenu, lecz stosunek niedoboru tlenu do zużycia tlenu na minutę. Stosunek ów charakteryzuje intensywność procesów oksydacji w stanie równowagi funkcjonalnej (steady state), niezależnie od czasu trwania pracy. Iloraz ten $\left(\frac{0_2 \text{ niedoboru}}{0_2 \text{ zużycie}/1'}\right)$ nie daje się zastosować przy ćwiczeniach o charakterze oddechowym, stwierdzono bowiem, że towarzyszy im wybitna hyperwentylacja, przy zupełnem niewystępowaniu niedoboru tlenowego. Autorzy dla porównywania niektórych ćwiczeń posługują się również współczynnikiem Kagana: $\frac{\text{wentylacja}}{\text{zużycie } 0_2}$

Zmiany ilorazu oddechowego w okresie wypoczynku autorzy przedstawiają w postaci 3-ch charakterystycznych krzywych: 1) wypukłej z gwałtownym wzrostem na początku, 2) wklęsłej — ze stopniowym powrotem

do wartości przeciętnej i 3) krzywej kształtu pośredniego bez znaczniejszych odchyleń od wartości przeciętnej.

Ostry wzrost RQ w początkowym okresie wypoczynku, następującym po intensywnych wysiłkah, autorzy tłumaczą zgodnie z Hillem i Meyerhoffem przejściem kwasu mlekowego do krwi, co powoduje ostre wypędzanie CO_2 z dwuwęglanów. Krzywa wklęsła przemawia za tem, że podczas danych ćwiczeń zachodzi wystarczający dopływ O_2 do krwi, dzięki czemu następuje prawie całkowite utlenienie powstającego kwasu mlekowego, przyczem zachodzi wiązanie nadmiaru CO_2 z dwuwęglanami krwi, co w rezultacie daje opadanie krzywej w początkowej fazie wypoczynkowej.

Przy stosowaniu zespołów różnych ćwiczeń należy według autorów dbać o to, by układy ćwiczeń wywoływały stopniowe narastanie wysiłku do pewnego maximum, obniżenie którego nastąpić musi przez odpowiednie ćwiczenia uspakajające. Przy tworzeniu poszczególnych układów należy dbać o to by ćwiczenia wymagające większego wysiłku znajdowały się pośrodku układu, wówczas krzywa reakcji fizjologicznej również osiągnie punkt kulminacyjny w środku z równemi mniej więcej odcinkami narastania i spadku.

Nadto układy muszą zadośćuczynić następującym wymaganiom:

a) równomierne „przećwiczenie" całej muskulatury, b) „przećwiczenie" pewnych grup mięśniowych, biorących udział w pracy zawodowej osobnika, c) ogólne „przećwiczenie" mięśni przy rozluźnieniu pewnych grup mięśniowych, nie bezpośrednio biorących udział w pracy osobnika.

Układy skonstruowane w wyżej podany sposób znajdują zastosowanie w krzewieniu kultury fizycznej w zakładach przemysłowych w celu podniesienia wydajności pracy.

W badaniach niniejszych stosowano układy, których krzywa natężenia ćwiczeń posiada punkt kulminacyjny w 4-ch różnych miejscach: 1) w końcu, przyczem ma miejsce ogólne „przećwiczenie" mięśni, 2) pośrodku, 3) po środku ćwiczeń z szczególnem uwzględnieniem mięśni nóg, 4) oraz pośrodku z ogólnem „przećwiczeniem" muskulatury i rozluźnieniem mięśni nóg. Wyniki osiągnięte przez autorów, sprowadzają się do następujących wniosków: 1) Układy ćwiczeń, których krzywa natężenia osiąga punkt kulminacyjny w środku, wydają się, mieć największą wartość pod względem fizjologicznym, dzięki czemu powinny być stosowane podczas pracy zawodowej. 2) Przy tworzeniu układów ćwiczeń należy uwzględnić wzajemne ich oddziaływanie na organizm, co daje się uskutecznić przez znajomość wpływu każdego poszczególnego ćwiczenia na ustrój. 3) Konstrukcja dobrych układów ćwiczeń wymaga przeplatania ćwiczeń wymagających dużego nakładu energji z ćwiczeniami zupełnie łatwemi. Warunek ten należy przedewszystkiem uwzględnić w części drugiej układu następującej po osiągnięciu punktu kulminacyjnego wysiłku. Dla potwierdzenia swoich wniosków autorowie przytaczają niektóre dane dotyczące 4-ch układów badanych. Wyniki zamieszczone bezwzględnie potwierdzają wyżej przytaczany wniosek charakteryzujący układ ćwiczeń, których krzywa natężenia osiąga punkt kulminacyjny pośrodku jako najlepszy z badanych.

	Niedobór O_2	Współczynnik niedoboru O_2	Przyspieszenie tętna	Zużycie energji pod.
	cm^3	%	%	cal.
I układ	619	12,8	34	6,5
II układ	193	5,2	8	2,6
III układ	218	9,4	8	2,8
IV układ	200	3,6	10	2,5

K. Babenko.

M. DUBUISSON. — BADANIA NAD ZWIĄZKIEM POMIĘDZY PRZEPUSZCZALNOŚCIĄ, PRĄDAMI CZYNNOŚCIOWEMI I SKURCZEM MIĘŚNI PRĄŻKOWANYCH.

(Arch. Int. d. Physiol. V. 37, 38, 40 i 41, 1933—1935).

W szeregu prac (10) autor przedstawia wyniki badań nad zmianami przepuszczalności mięśnia dla jonów, oraz związek, jaki istnieje pomiędzy temi zmianami a prądami czynnościowemi i skurczem mięśnia. Autor zaznacza na wstępie, że ogólnie przyjmuje się, że czynności komórek towarzyszy wzrost przepuszczalności ich błon fizjologicznych. W przypadku mięśni, autor przytacza szereg prac, z których jedne potwierdzają występowanie wzrostu przepuszczalności w czasie skurczu, inne zaś mu przeczą. Wobec sprzeczności tych wyników, autor postanowił zbadać to zagadnienie przy pomocy nowej metody, która pozwala zapisywać fotograficznie zmiany przepuszczalności podczas skurczu mięśnia. W tym celu autor zapisuje zmiany oporu elektrycznego mięśnia w kierunku poprzecznym do jego osi, dla prądu zmiennego o małej częstotliwości. Zakłada on przytem, że jeżeli przepuszczalność mięśnia dla jonów wzrośnie ,to opór elektryczny musi się zmniejszyć, i odwrotnie. Otrzymaną przy pomocy swego zestawienia krzywą, wyrażającą zmiany oporu, a tem samem i przepuszczalności tkanki dla jonów, nazywa autor jonogramem, a w szczególności w przypadku mięśnia jonomiogramem. Nazwę tę wprowadził autor dlatego, że krzywe te są wyrazem zmian zachodzących w przechodzeniu jonów przez „graniczne fazy spolaryzowane" (błony fizjologiczne). Przy pomocy swej metody autor uzyskał następujące wyniki: Podczas skurczu mięśnia występuje dwukrotne zwiększenie przepuszczalności mięśnia. Na jonogramie zaznacza się to wystąpieniem dwóch fal, odpowiadających zmniejszeniu oporu elektrycznego mięśnia. Pierwsza fala, nazwana przez autora falą *a*, rozpoczyna się po 3—5.5 σ od chwili zadrażnienia, wzrasta w ciągu 3σ, poczem opada w ciągu 7 σ. Przed zakończeniem fali *a* rozpoczyna się druga fala spadku oporu elektrycznego, fala *b*, która rozpoczyna się po 16 σ od chwili podrażnienia, wzrasta w ciągu 0.04 sek. i opada w 1 sek.

Autor starał się powiązać zmiany przepuszczalności mięśnia z prądem czynnościowym. W tym celu opracował metodę, która pozwalała na jednoczesne zapisywanie zmian przepuszczalności oraz prądów czynnościowych mięśnia. Przy pomocy tej metody autor stwierdził, że fala *a*, która odpowiada małej zmianie przepuszczalności, przebiega równocześnie z falą *R*, wykrytą przez Bishopa i Gilsona, a która odpowiada znacznemu spadkowi potencjału prądu spoczynkowego, oraz że fala *b*, wyrażająca dużą zmianę

przepuszczalności, jest jednoczesna z falą *T* prądu czynnościowego, odpowiadającą niewielkiej negatywizacji. Autor przypuszcza, że te 4 zmiany, *a*, *b*, *R*, i *T*, stanowią skutki tylko dwóch różnych zjawisk. Ażeby wytłumaczyć, dlaczego mały wzrost przepuszczalności, wyrażony przez falę *a*, odpowiada dużemu spadkowi potencjału (fali *R*), zaś duża zmiana przepuszczalności (fala *b*), odpowiada słabej negatywizacji (fali *T*), autor wysuwa przypuszczenie, że fale *a* i *R* odpowiadają depolaryzacji, t. zn. przesunięciu jonów wywołujących polaryzację tkanki, zaś fale *b* i *T* odpowiadałyby uruchomieniu jonów, wywołanemu przez wybuch laktacydogenu.

Niezależność fal *a* i *R* od fal *b* i *T* wykazał autor, stosując podniety podprogowe. Okazało się, że przy drażnieniu bezpośredniem podnieta podprogowa daje na jonogramie tylko falę *a*, zaś na elektrogramie tylko falę *R*. Amplituda tych fal wzrasta wraz z natężeniem podniety. Po osiągnięciu progu pobudliwości obok fal *a* i *R* pojawiają się fale *b* i *T*. Wg. autora fakt, że fale *b* i *T* występują dopiero wówczas, gdy podnieta staje się skuteczna, potwierdza jego tezę, że fale *b* i *T* odpowiadają procesom energetycznym skurczu. Dalsze potwierdzenie tego przypuszczenia znajduje autor w tem, że powstanie fali *b* jest ściśle współczesne z powstaniem napięcia w mięśniu.

Autor zastosował również swoją metodę po dalszych ulepszeniach do zbadania zmian przepuszczalności mięśnia podczas elektrotonusu. Z badań tych wynika, że stosując przepływ prądu stałego podprogowego, uzyskuje się przy katodzie stopniowy wzrost przepuszczalności, dążący do pewnej stałej wartości. Przy zastosowaniu prądu stałego bardzo bliskiego progowemu, przepuszczalność najpierw wzrasta, dochodzi do maximum, poczem nieznacznie spada i wreszcie ustala się. Maximum przepuszczalności zostaje osiągnięte po 20—45 σ, licząc od zamknięcia prądu. Przy prądzie progowym stan czynny w mięśniu rozpoczyna się mniej więcej w chwili osiągnięcia maximum przepuszczalności. W miarę wzrostu natężenia prądu, początek stanu czynnego zbliża się coraz bardziej do momentu zamknięcia prądu.

W pobliżu anody przepuszczalność maleje w sposób podobny do tego, jak przy katodzie wzrasta.

Krzywa zmian przepuszczalności mięśnia przy katelektrotonusie jest bardzo podobna do krzywej zmian pobudliwości nerwu w tychże warunkach, oznaczonej przez Bishopa, Erlangera i Blaira. Jonogram mięśniowy i krzywa zmian pobudliwości daje się na siebie nałożyć, jeżeli pomnożyć wartości chronologiczne tej ostatniej przez 27. Liczba ta jest bardzo zbliżona do stosunku szybkości przewodzenia podrażnień w nerwie i w mięśniu, który to stosunek wynosi 30.

Na podstawie podobieństwa jonomiogramu do krzywej pobudliwości nerwu dochodzi autor do wniosku, że zmianom pobudliwości odpowiadają zmiany oporu elektrycznego tkanki. Ta równoległość zmian pozwala zapisywać bardzo szybkie zmiany pobudliwości przy pomocy przyrządu, służącego do otrzymywania jonogramu.

Skurcz mięśnia rozpoczyna się w tem jego miejscu, gdzie przepuszczalność raptownie wzrasta, a więc przy zamknięciu w okolicy katody, zaś przy otwarciu prądu w okolicy anody. Wzrost przepuszczalności przy

anodzie w chwili otwarcia prądu jest zawsze mniej szybki, niż przy katodzie w chwili zamknięcia, co tłumaczy, dlaczego próg pobudliwości dla zamknięcia jest zawsze niższy, niż próg otwarcia.

Na podstawie uzyskanych wyników autor dochodzi do następującego ujęcia zespołu zjawisk, wywołanych w mięśniu przez podnietę skuteczną (prąd stały): drażniący prąd wywołuje na katodzie wzrost przepuszczalności pierwszego rzędu (katelektroniczny). Jeżeli to zjawisko osiągnie pewną określoną wartość w czasie dostatecznie krótkim, wywołuje ono zjawisko wyrażające się we wzroście przepuszczalności drugiego rzędu (fala *a*). Ta zmiana przepuszczalności ze swej strony przechodzi od komórki do komórki i powoduje swoisty stan czynny, który wyraża się wzrostem przepuszczalności trzeciego rzędu (fala *b*).

Na podstawie różnych rozważań autor przypuszcza, że zjawiska te mają analogiczny przebieg w nerwach, mięśniach prążkowanych oraz mięśniu sercowym, oraz, że te zmiany przepuszczalności dotyczą nie jakichś struktur makro- czy mikroskopowych tkanki, lecz układów koloidalnych protoplazmy, zarówno rozproszonych wewnątrz komórki, jak i zagęszczonych na jej powierzchni (błon fizjologicznych).

B. Zawadzki.

H. REIN, O. MERTENS i M. SCHNEIDER. — DOPŁYW KRWI DO MIĘŚNIA PODCZAS CZYNNEGO, DŁUGOTRWAŁEGO SKURCZU.

(Pflüg. Arch. B. 236 1936).

W ciągu ostatnich lat zagadnienie ukrwienia mięśni podczas spoczynku i pracy jest przedmiotem licznych badań doświadczalnych, gdyż z powyższym tematem wiążą się ściśle liczne inne zagadnienia fizjologiczne. Mięsień (o ile jest w łączności z układem krwionośnym i nerwowym) jest systemem doskonale i celowo reagującym na czynniki fizjologiczne i chemiczne. Wykonywanie doświadczeń na mięśniach izolowanych ma tylko względną wartość naukową, — wnioski tu otrzymane można wykorzystywać tylko z pewnemi zastrzeżeniami. Istotną wartość mieć mogą tylko wyniki doświadczeń wykonanych w „warunkach fizjologicznych". Jednym z tematów licznie opracowywanych, a zarazem powodującym dyskusję (bo wyniki uzyskane przez różnych autorów zasadniczo się różnią) jest zagadnienie: „Czy podczas długotrwałego skurczu mięśniowego przepływ krwi jest zahamowany i czy zachodzi to przez mechaniczny ucisk kurczącej się tkanki?" *Anrep, Jongbloed* i *Noyons* jak również *Lindhard* twierdzą, że tak jest.

Autorzy niniejszej pracy wykonali szereg doświadczeń w warunkach, jak nazywają, „fizjologicznych", — na psach w narkozie pernoktonowej; mierzono przepływ krwi w tętnicy udowej „zegarem" *Rein'a.* Nie przewiązywano bocznych rozgałęzień. Poniżej miejsca, gdzie mierzono szybkość przepływu krwi, umieszczono na tętnicy pierścień, zaopatrzony w śrubę, pozwalający na wykonywanie dozowanego ucisku mechanicznego na naczynie, zaopatrywujące całą dolną kończynę. W sąsiedztwie na żyle udowej umieszczono również aparaturę do mierzenia szybkości przepływu krwi. Dbano by nie przewiązywać i nie uszkadzać bocznych rozgałęzień żyły. Na

nerw kulszowy (n. ischiadicus) zakładano elektrody i drażniono w rytmie 10—5000 Hertzów, przy natężeniu dziesiątych miliampera. Zmiany długości mięśnia rejestrowano zapomocą aparatury *M. Schneider'a* — odcięty koniec ścięgna Achillesa połączony był nitką z ruchomym kontaktem potencjometru; ruch mięśnia powodował zmiany oporu w obwodzie galwanometru i odpowiednie (proporcjonalne) wychylenia galwanometru, które rejestrowano fotograficznie. Mierzono również podczas doświadczeń ogólne ciśnienie krwi w art. brachialis (zapomocą zwierciadłowej puszki przy użyciu transmisji hidrodynamicznej).

Jako rezultat doświadczeń i analizy wyników, autorzy podają następujące wnioski. 1) Nawet podczas najsilniejszego, długotrwałego skurczu niema zahamowania dopływu krwi do mięśni. Kurczący się mięsień nie wytwarza oporu mechanicznego dla dopływającej krwi. 2) Przeciwnie, mięsień przez roztworzenie sieci naczyń krwionośnych — zapewne już podczas trwania skurczu — umożliwia dostateczny dopływ krwi. 3) Sztuczne zahamowanie dopływu krwi (przez zakręcenie zacisku poprzednio założonego na tętnicę) podczas maksymalnego skurczu powoduje natychmiastowy zanik skurczu czyli rozkurcz. 4) Po takim zabiegu w mięśniu występuje „odczynowa hiperemja (przekrwienie). 5) Stosunek mechanogramu i obrazu ukrwienia mięśnia uzależniony jest od rytmu podniet używanych do drażnienia. Autorzy twierdzą, że charakter przepływu krwi przez mięsień jest stanowczo niezależny od stosunków mechanicznych, panujących w pracującym mięśniu — raczej oba zjawiska t. j. szybkość przepływu i stosunki mechaniczne uzależnione są od wspólnej przyczyny, zapewne od chemizmu mięśniowego, a może i od termicznych procesów wewnątrz tkanki mięśniowej.

St. Gartkiewicz.

PRZEMIANA MATERJI I ENERGJI.

ST. RAPAI i P. ROSENFELD. — BADANIA WYMIANY GAZOWEJ U ZWIERZĄT PRZY PODAWANIU TYROKSYNY I WITAMINY A.

(Pflung. Arch. B. 236. 1935).

V. Euler i *Kaufmann* pierwsi zwrócili uwagę na antagonizm pomiędzy działaniem witaminy A, ewentualnie karotyny i tyroksyny. Znaleźli oni, iż 2,5 γ karotyny przyśpiesza wzrost młodych szczurów, a działanie to może być skompensowane przez podanie tyroksyny. *Wendt* stwierdził zmniejszenie się zawartości witaminy A w surowicy krwi podczas choroby Basedowa i powrót do normy po ustąpieniu choroby. Według autora tyroksyna ma podwójne działanie: zwiększa powstawanie witaminy A z karotyny i prócz tego przyśpiesza oksydację witaminy. *Fasold* i *Heidemann* stwierdzili, że mleko normalnej kozy zawiera mało karotyny, a dużo witaminy A, po usunięciu tarczycy ujawniają się stosunki odwrotne (zewnętrznym tego objawem jest wybitne zżółknięcie mleka). *Fufinger* i *Gottlieb* przekonali się, że przyśpieszające metamorfozę kijanek działanie tyroksyny może być zniweczone przez jednoczesne podawanie witaminy A; ustalili, że 200 jednostek

voganu odpowiada 3 tyroksyny. W 1935 r. *Abelin* ogłosił wyniki swych badań, wykazując, że zwiększające ogólną przemianę materji i hamujące wzrost działanie tyroksyny może być skompensowane przez witaminę A.

Autorzy niniejszej pracy badania wykonali na szczurach (wagi około 200 gr.). Wymianę gazową badali metodą *Aszodi* i *Kiko Goto*, mierząc bezpośrednio wydalanie CO_2 i H_2O, a pośrednio z tych danych zużycie tlenu. Aby wywołać u zwierząt stan hiperthyreozy — co drugi dzień zastrzykiwano pod skórę na grzbiecie 50 γ tyroksyny Richtera. Jako źródło witaminy A, stosowano preparat Bayer-Meister — Luciusa zw. „voganem".

Wstępne badania wykazały, że przy stosowaniu tyroksyny ogólna przemiana materji wzrasta o 30% — 40% a nawet u jednego osobnika po 5 tygodniach stosowania tyroksyny aż 61,7%. Następnie, stosując „Vogan", uzyskiwano zmniejszenie ogólnej przemiany materji (od 4 do 12%). Współcześnie z tyroksyną stosowany „Vogan" wybitnie obniża działanie tyroksyny. Takie same działanie wywiera prowitamina A (t. j. karotyna).

Niezwykle ciekawem jest to, że *Fufinger* i *Gottlieb*, określając „siłę" kompensacji tyroksyny i voganu, znaleźli zależność: 200 jednostek voganu = 3 tyroksyny, zaś autorzy niniejszej pracy, pomimo różnicy materjału badanego i objawów, stwierdzili prawie taką samą zależność (różnica wynosi tylko 10%).

St. Gartkiewicz.

F. W. SCHLUTZ, M. MORSE i *A. B. HASTINGS.* — ACIDOZA A ZMĘCZENIE. (Am. Journ. Physiol. Vol. 113. 1935).

Wcześniejsze badania autorów nad zmęczeniem u psów wykazały, że praca fizyczna o umiarkowanem natężeniu doprowadzona jednak do całkowitego wyczerpania zwierzęcia, powoduje zakwaszenie organizmu. Zakwaszenie to przejawia się w spadku stężenia dwuwęglanów i we wzroście stężenia kwasu mlekowego w surowicy; pH nieraz przytem spada, czasem jednak pozostaje bez zmian, bądź nawet wzrasta, co zależy od towarzyszącej pracy hiperwentylacji.

W doświadczeniach niniejszych chodziło autorom o zbadanie następującego zagadnienia: czy powstającą w czasie pracy acidozę należy traktować jako pierwotny czynnik zmęczenia.

Aby wyjaśnić powyższą kwestję, autorowie prowadzili swoje badania w ten sposób, że bądź podawali zwierzęciu per os dwuwęglany, przeciwdziałając powstającemu w czasie pracy zakwaszeniu, bądź też wywoływali dodatkowe zakwaszenie organizmu przez podawanie chlorku amonowego.

Doświadczenia wykonane były na czterech psach. Dwuwęglan sodu w ilościach 9 — 12 g, względnie chlorek amonowy (3 g) podawany był w godzinę lub półtorej przed rozpoczęciem pracy. Na każdem z badanych zwierząt wykonane były również doświadczenia kontrolne, t. j. bez sztucznej alkalizacji, względnie zakwaszenia. W surowicy oznaczano pH, całkowitą ilość dwutlenku węgla i kwas mlekowy; zawartość dwuwęglanów obliczana była z danych dla pH i dla CO_2. Jak wynika z przeprowadzonych przez autorów analiz, alkaloza względnie acidoza wywołana przez wyżej wymienione odczynniki trwała przez kilka godzin.

Badane psy wykonywały pracę na deptaku lub zmuszane były do pływania. Doświadczenia prowadzone były do całkowitego wyczerpania zwierzęcia; czas trwania doświadczeń mógł w ten sposób służyć miarą szybkości występowania zmęczenia.

Wyniki doświadczeń przedstawiają się w sposób następujący:

1. Wywołana przez podanie dwuwęglanu sodu alkaloza często zmniejszała zdolność psa do pracy mięśniowej; zmęczenie występowało wcześniej niż w doświadczeniu kontrolnem, aczkolwiek równowaga kwasowo-zasadowa we krwi w momencie wyczerpania zwierzęcia była w granicach normy.

2. Dodatkowe zakwaszenie organizmu, wywołane chlorkiem amonowym, często wpływało dodatnio, nigdy zaś ujemnie na zdolność organizmu do pracy, przedłużając okres pracy i odsuwając moment występowania zmęczenia.

3. Podawany zwierzęciu dwuwęglan sodu potęgował tworzenie się w czasie pracy kwasu mlekowego, chlorek amonowy natomiast powstawanie kwasu mlekowego hamował.

Wobec przytoczonych powyżej faktów autorowie twierdzą, że acidozy towarzyszącej pracy fizycznej nie należy uważać za czynnik pierwotny zmęczenia zwierzęcia.

W. Niemierko.

ODDYCHANIE.

D. KEILIN. — MECHANIZM ODDYCHANIA WEWNĄTRZKOMÓRKOWEGO. (Bull. d. 1. Soc. d. Chimie Biol. T. 18. 1936).

W tym artykule przeglądowym, który autor wygłosił na V kongresie chemji biologicznej, zostały przedstawione wyniki, dotyczące sposobów utleniania różnych ciał wewnątrz komórek. Autor rozpatruje kolejno różne układy katalizujące utlenienie. Zasadniczym procesem przy utlenieniu wewnątrzkomórkowem jest uczynnienie (aktywacja) cząsteczek ciała, ulegającego utlenieniu w ten sposób, że niektóre atomy wodoru tej cząsteczki stają się bardziej ruchliwe i mogą przejść na inne ciało. Zaczyny uczynniające w ten sposób cząsteczki nazywają się dehydrogenazami, dehydrazami, aktywatorami lub po niemiecku „Zwischenfermente”. Aczkolwiek fakt aktywacji jest niewątpliwy, to jednak mechanizm jej jest nieznany. Prawdopodobnie zaczyn tworzy z ciałem utlenianem przejściowe połączenie, w którem cząsteczka podłoża zmienia swą budowę w ten sposób, że pewne wodory są słabiej przytrzymywane. Dzięki temu uczynniona cząsteczka podłoża, czyli dawca (donator) wodoru utlenia się, reagując z odbiorcą (akceptorem) wodoru, który ulega redukcji.

Ostatecznym odbiorcą wodoru w normalnych warunkach jest tlen powietrza. Jednak nie wszystkie cząsteczki uczynnione mogą oddawać swój wodór bezpośrednio tlenowi. W większości przypadków wodór zostaje przekazany przenośnikowi, który stanowi odbiorcę wodoru pierwszego rzędu. Jako tacy odbiorcy wodoru poza tlenem mogą działać składniki cytochromu, glutation, żółty zaczyn Warburga i Christiana oraz inne naturalne barwniki zdolne do utleniania i redukcji, jak pyocjanina, dalej błękit me-

tylenowy i inne barwiki ulegające redukcji, wreszcie woda utleniona, powstająca podczas pewnych reakcyj z tlenem cząsteczkowym. Odbiorcy wodoru pierwszego rzędu mogą skolei ulec utlenieniu, czyli oddać uzyskany poprzednio wodór albo w reakcji bezpośredniej, z tlenem, jak żółty zaczyn, pyocjanina lub błękit metylenowy, albo za pośrednictwem oksydazy, jak cytochrom.

Ostatnio zbadano bardzo wiele układów dehydrazowych. Spośród ogólnych własności dehydraz należy podkreślić to, że katalizowane przez nie reakcje są odwracalne. W przypadku kwasu bursztynowego i fumarowego udało się ustalić na kilku drogach stałą równowagi. Inną ogólną własnością dehydraz jest to, że są one nieczułe na KCN, H_2S i CO, natomiast ulegają zahamowaniu przez narkotyki.

W dalszym ciągu autor omawia przykłady różnych typów utleniania, rozpoczynając od takich, w których podłoże reaguje bezpośrednio z tlenem cząsteczkowym. Takie utlenianie dają oksydaza ksantynowa, urikaza i oksydaza aminokwasowa. Oksydaza ksantynowa czyli zaczyn *Schardingera* utlenia ksantynę i hypoksantynę na kwas moczowy oraz aldehydy na odpowiednie kwasy. *Keilin* uważa, że oksydaza ksantynowa jest dehydrazą, która uczynnia cząsteczki podłoża. Uczynnione cząsteczki mogą reagować zarówno z O_2, jak i z błękitem metylenowym. Przy reakcji z O_2 powstaje woda utleniona.

W przeciwieństwie do oksydazy ksantynowej urikaza jest ściśle swoista, utlenia ona wyłącznie kwas moczowy na allantoinę. Przy tem utlenianiu zostaje zużyty jeden atom tlenu i jedna cząsteczka wody, zaś wydziela się cząsteczka CO_2, a więc QR tej reakcji wynosi 2.

Spośród dalszych układów omówionych przez *Keilina* największe znaczenie posiada układ złożony z dehydraz, cytochromów a, b i c oraz fermentu oddechowego *Warburga*. W układzie tym cząsteczki podłoża uczynnione przez dehydrazy utleniają się reagując z utlenionym cytochromem, który ulega redukcji. Skolei cytochrom zredukowany zostaje utleniony przez zaczyn oddechowy *Warburga*. Cytochromy są to barwniki o charakterystycznem widmie pochłaniania. Składnik c w wyciągach ma barwę ciemnoczerwoną. Własności jego są następujące: sam się nie utlenia w obecności tlenu, natomiast utlenia się natychmiast po dodaniu oksydazy indofenolowej, otrzymanej przez roztarcie mięśnia sercowego. Z CO się nie łączy.

Własności fermentu oddechowego *Warburga* są następujące: jest on hamowany odwracalnie przez CO, jednakże jego powinowactwo do tlenu jest większe, niż do CO, w przeciwieństwie do hemoglobiny, gdzie jest znacznie mniejsze. Po naświetleniu powinowactwa do CO jest mniejsze, niż w ciemności. Według *Keilina* ferment oddechowy *Warburga* jest identyczny z t. zw. oksydazą indofenolową, gdyż CO spośród wszystkich składników komórkowych działa tylko na tę oksydazę.

Jeżeli chodzi o rolę, jaką w całkowitem oddychaniu odgrywa układ zawierający jako przenośnik tlenu cytochrom, to według *Haasa* całe oddychanie drożdży przebiega za pośrednictwem cytochromu. Zagadnienie wzajemnego stosunku cytochromu, fermentu oddechowego i oksydazy indofenolowej stanowi jeszcze ciągle przedmiot dyskusji *Keilina, Warburga* i innych.

W dalszym ciągu *Keilin* opisuje szereg reakcyj, w których wodór przy pomocy dehydraz i odpowiednich przenośników, naogół jeszcze nieznanych, przechodzi z jednych metabolitów na inne, jak np. z kw. mlekowego na kw. fumarowy, dając kw. pyrogronowy i bursztynowy, albo z jednych aminokwasów na inne. Wreszcie na zakończenie omawia autor znaczenie budowy komórkowej dla uzgodnienia przebiegu tak licznych reakcyj, zachodzących równocześnie w żywej komórce. Zniszczenie tej budowy może albo wywołać reakcje normalnie nie zachodzące, albo przerwać reakcje przebiegające zwykle w komórce. Np. lekkie zgniecenie powierzchni owocu, kartofla lub grzyba wyzwala silne utlenianie, które może być tysiąc razy większe, niż niezgniecionych. Z drugiej strony hemoliza niszczy zupełnie zdolność krwinek do utlenienia glukozy w obecności błękitu metylenowego, natomiast nie wpływa na zdolność utlenienia kw. heksozo-jednofosforowego. Zahamowanie oddychania przy zniszczeniu budowy komórkowej zależy nietylko od zniszczenia powierzchni wewnętrznych, lecz również od zmian stężenia fermentów jak to wykazał *Warburg* na krwinkach gęsi, oraz *Krebs* na miazdze nerki. *Krebs* tłomaczy bardzo znaczny wpływ koncentracji szybkiem zmniejszaniem się przy rozcieńczeniu prawdopodobieństwa spotkania się cząsteczek, których musi spotkać się 3 lub 4, ażeby reakcja mogła nastąpić.

Br. Zawadzki.

J. SCHICK i *A. GRÜNBERG.* — RENTGENOLOGICZNE BADANIA UKŁADU ODDECHOWEGO PODCZAS PRACY I ZMĘCZENIA.

(Arb. phys. B., 8, 1935).

Celem pracy było zbadać zachowanie się układu oddechowego podczas pracy i zmęczenia przy pomocy prześwietleń rentgenowych. Zastosowana metoda ortokinoskopowa pozwoliła przedstawić ruchy oddechowe w postaci krzywych. Śledzono zachowanie się rytmu oddechowego, głębokości oddechu a przedewszystkiem pojemności życiowej płuc.

Objektem badań było 63 robotników w wieku od 20 do 40 lat o różnych zawodach, którzy zgłaszali się celem określenia ich zdolności do pracy w Inst. dla Chor. Zaw.

Praca składała się z unoszenia nogi 35 razy na minutę przez 2 do 4 minut. Spostrzeżenia robiono jeszcze przez jedną minutę po pracy. W drugiej minucie pracy zauważono zwiększenie się rytmu oddechowego o 23%, ruchów żeber o 47% czyli wzrost objętości oddechowej, stwierdzonej spirometrycznie również przez innych autorów *(Manhold)*.

Zwiększyła się również pojemność życiowa płuc (dystans między poziomem ruchów przepony a żebrami zwiększył się), co stosując inne metody zauważyli także inni autorzy *(Bohr, Verzar)*.

Pod koniec pracy (3—4 min.) obraz się zmienia — rytm oddechowy wzrasta w dalszym ciągu, zmniejsza się natomiast głębokość oddechu (mniejsze aniżeli w drugiej min. pracy ekskursje żeber i przepony). Jeszcze bardziej w stosunku do poprzedniego zwiększenia wysiłkowego — zmniejszyła się pojemność życiowa płuc (dystans przeponowo-żebrowy zmniejszył się o 25% — ruchy przepony odbywały się wyżej). Objawy zmniejszenia

się głębokości oddechu i pojemności życiowej płuc przypisują autorzy zmęczeniu.

Dla sprawdzenia tego ostatniego przypuszczenia wykonali autorzy drugą serję doświadczeń na 6 osobach, które pracowały znacznie intensywniej (podnosili ciężar 2-kilogramowy 35 razy na minutę ręką lub nogą).

Zjawiska zwiększenia się rytmu oddechowego i zmniejszenia głębokości oddechu oraz pojemności życiowej wystąpiły wcześniej, przyczem dwa ostatnie objawy wystąpiły poniżej norm spoczynkowych.

Po pracy częstość oddechów spada, objętość oddechowa i pojemność życiowa płuc wzrasta wysoko.

W przebiegu pracy jedynie więc krzywa częstości oddechu wykazuje stały wzrost, krzywe natomiast głębokości oddechu i pojemności życiowej płuc podlegają wahaniom w zależności od rodzaju pracy, wzrastając do pewnego kompensacyjnego maksimum, po którem w zależności od występującego zmęczenia opadają. Obniżenie się pojemności życiowej płuc spowodowane jest według autorów emfizematycznem rozdęciem płuc na skutek zmęczenia, które wywołuje niekorzystny dla wentylacji stosunek zwiększonej objętości powietrza alweolarnego do objętości powietrza wdechowego. Zmniejszenie pojemności życiowej płuc przez nie tak głębokie oddechy warunkuje — zdaniem autorów — lepsze przewietrzenie płuc.

El. Preisler.

W. A. SCHOCHRIN. — REAKCJA SYSTEMU ODDECHOWEGO U KOBIET I U MĘŻCZYZN.

(Arbphysiol. B. 9. 1935).

W badaniach poprzednich autor obalił ogólnie przyjęte twierdzenie w klasycznej fizjologji, jakoby istniały różnice zdolności funkcjonalnej systemu krążeniowego w zależności od płci. Jeśli takowe zostały kiedykolwiek stwierdzone, należy je raczej odnieść do odmiennego trybu życia kobiet i mężczyzn. Badania wykazały, że znikają one całkowicie pod wpływem uprawiania sportu, oraz licznego udziału kobiet w pracy zawodowej.

Wobec powyższego autorzy również zakwestjonowali notowane dotychczas różnice w typie oddychania i częstotliwości ruchów oddechowych u kobiet i u mężczyzn. Co się tyczy typu oddychania autor cytuje wyniki badań przeprowadzonych w Moskwie w instytucie opieki nad pracą fizyczną. Wykazały one, że pod wpływem pracy fizycznej i treningu sportowego zanika zupełnie zanotowany u kobiet piersiowy typ oddychania, zjawia się natomiast przeponowy. A zatem, podobnie jak z systemem krążeniowym nie płeć decyduje o typie oddychania, ale warunki pracy zawodowej. W sprawie rytmu oddechowego przetrwała w fizjologji dotychczas zasada *Danilewskiego* i *Landois,* którzy twierdzą, że do 8-go roku życia liczba oddechów u chłopców jest większa niż u dziewcząt, między 8—15 rokiem zachodzi zjawisko odwrotne, a od 15-go roku, aż do wieku starczego częstość oddechów wzrasta, przyczem u kobiet w większym stopniu niż u mężczyzn. Wobec tego, że powyższe rozgraniczenie oparte na wieku zostało odniesione do płci, autor postanowił kwestję tę skontrolować. W tym celu przeprowadził szereg doświadczeń na 3-ech grupach kobiet i 3-ech grupach

mężczyzn w wieku 30—49 lat zatrudnionych w różnych warsztatach pracy. Liczba oddechów waha się przeciętnie od 16 do 20 min. Odchylenia w różnych kierunkach nie zależą wyłącznie od wieku badanych, ale w dużej mierze od rodzaju pracy zawodowej. We wszystkich grupach żeńskich rytm oddechowy zmniejsza się wraz z wiekiem. To samo zjawisko zanotowano u mężczyzn, z wyjątkiem wydmuchiwaczy szkła, u których liczba oddechów wzrasta. Zmiany w frekwencji oddechów noszą więc b. często ślady pracy zawodowej, która niejednokrotnie wprowadza cechy patologiczne w normalnym ustroju. Naogół stwierdzono u $^2/_3$ kobiet badanych 18 oddechów na min. (jest to liczba przyjęta dotychczas dla mężczyzn). W dalszym ciągu autor badał reakcję systemu oddechowego pod wpływem pracy na ergomierzu, przyczem stwierdził wzrost liczby oddechów w 1-ej min. po pracy u kobiet różnych zawodów o 22.2 — 29.9%, u mężczyzn tylko o 11.8—22.5%.

Odmienne zjawisko zostało zanotowane przy badaniach reakcji systemu krążenia, w tem mianowicie znaczeniu, że tętno w 4—5 min. po pracy jest zwolnione u 2 razy większej ilości kobiet niż u mężczyzn.

Reasumując rezultaty badań autor stwierdza, że:

1. Nie mamy żadnych podstaw do uznania dotychczasowej zasady rozgraniczenia częstotliwości oddechów w zależności od płci.

2. Wraz z wiekiem liczba oddechów naogół się zmniejsza, ale należy uwzględnić wpływ pracy zawodowej, która niejednokrotnie zwiększa liczbę oddechów zarówno u kobiet jak i u mężczyzn.

3. Przeprowadzona próba funkcjonalna wykazuje, że system oddechowy u mężczyzn jest mniej pobudliwy, niż u kobiet, które ujawniają po pracy rytm oddechowy zwiększony o 10—15% w porównaniu z mężczyznami.

4. Analogja przeprowadzona między reakcją systemu oddechowego a tętnem wykazuje, że to ostatnie jest bardziej pobudliwe u mężczyzn niż u kobiet — zjawisko wręcz przeciwne niż w przypadku oddychania.

A. Perlberg.

KREW I KRĄŻENIE KRWI.

M. TITSO i *A. PEHAP.* — WPŁYW PRACY FIZYCZNEJ NA CZĘSTOŚĆ TĘTNA.

(Arbphysiol. B. 9. 1935).

Dotychczasowe badania nad wpływem pracy fizycznej na tętno ograniczają się wyłącznie do określania liczby tętna w okresie spoczynkowym, poprzedzającym pracę, oraz podczas wypoczynku następującym bezpośrednio po pracy. Natomiast kwestja zachowywania się tętna w momencie przejścia od stanu spoczynkowego do pracy jak i w czasie jej trwania pozostała ze względów metodycznych dotychczas otwarta. Praca niniejsza została podjęta celem wyświetlenia powyższej sprawy przy pomocy aparatu *Fleischera,* który umożliwia automatyczną rejestrację pulsu w czasie pracy.

Badania zostały przeprowadzone na 20 osobach płci męskiej w wieku 15—39 lat. Tętno określano podczas spoczynku, wypoczynku oraz podczas

15 minutowej pracy o natężeniu 187—1018 mkg/min. wykonywanej na ergomierzu.

Rezultaty badań doprowadziły do następujących wniosków:

1. Psychiczne nastawienie w oczekiwaniu zbliżającej się pracy przyśpiesza tętno o 12—40 uderzeń na min. Wystarczyło wypowiedzieć słowo „uwaga", by do chwili bezpośredniego sygnału w postaci dzwonu, zanotować wyżej podany efekt. Dane te potwierdzają rezultaty *Deutscha* i *Kaufa*, którzy zanotowali, u osób w stanie hypnozy pod wpływem sugestji pracy, wzrost tętna w spoczynku.

2. Podczas pracy, wywołującej wzrost tętna do 100—140 uderzeń na min, tętno stabilizuje się już po 3—15 sek. Podczas pracy, której towarzyszy wyższe tętno, poziom odpowiadający intensywności danej pracy zostaje osiągnięty dopiero po 45—90 sek.

3. U osób wytrenowanych tętno pozostaje w ścisłym związku z intensywnością pracy. Krzywa tętna przebiega równolegle do krzywej natężenia pracy. U osób niewytrenowanych tętno stale wzrasta aż do chwili ukończenia pracy, niezależnie od tego, że natężenie wysiłku jest utrzymane od samego początku na stałym poziomie.

4. Ustabilizowanie się tętna na poziomie wyjściowym po ukończeniu pracy zależy od wysokości jego w czasie pracy. Powrót do normy trwa od 30 sek. do 3 min. Zwolnienie tętna następuje b. często dopiero po 12—30 sek. W okresie tym, zwanym utajonym, tętno utrzymuje się na poziomie osiągniętym podczas pracy.

5. W większości przypadków bezpośrednio po ukończeniu pracy zanotowano faliste zwalnianie tętna, wywołujące nienormalną niestałość tętna, która nie pozostaje w żadnym związku z mechaniką oddychania.

6. Po pracy, której towarzyszy stałe b. wysokie tętno (od 220 do 225 uderzeń na min), występuje niekiedy zupełna równowaga tętna — „Pulsstarre".

Nadto autorowie wykazali, że arytmia oddechowa nie pozostaje w żadnym związku z wydolnością fizyczną organizmu, co obala w zupełności pogląd *Fleischera* i *Beckmanna*. Ci ostatni zanotowali największą arytmię oddechową u osób wysoce wytrenowanych, zdolnych wykonywać wielkie wysiłki. W związku z powyższem orzekli, że arytmia oddechowa zależna jest od wydolności fizycznej człowieka.

A. Perlberg.

UKŁADY REGULACYJNE.

A. V. BEZNÁK i *J. PERJÉS*. — O ZWIĄZKU POMIĘDZY PRZEROSTEM KORY NADNERCZY, PRACĄ FIZYCZNĄ A ZAWARTOŚCIĄ WITAMINY B W POŻYWIENIU.

(Pflüg. Arch. B. 236. 1935).

Niedawno temu autorzy niniejszej pracy ogłosili wyniki swych doświadczeń na temat związku pomiędzy wytężoną pracą fizyczną, wzrostem ogólnym oraz wagą poszczególnych narządów ciała szczurów. Wykazali wówczas, iż wytężona praca powoduje hipertrofję kory nadnerczy (tkanki

interrenalnej). Z drugiej strony wiadomo *(Beznák, Verzar, Peter)*, że przy niedostatecznej podaży witaminy B również ujawnia się hipertrofja kory nadnerczy. Wiadomo również *(Crowgill, Deul, Smith, Klotz* i *Beard)*, iż wytężona praca fizyczna wymaga zwiększenia zawartości witaminy B w pożywieniu. Prócz tego z doświadczeń *Eagle, Britton* i *Kline* wynika, że stosowanie dootrzewnie 1—4 ccm wyciągu z kory nadnerczy (wg. recepty *Pfiffner-Swingle)* zwiększa do 100% wydajność pracy fizycznej (psy na deptaku).

W niniejszej pracy autorzy zajęli się związkiem pomiędzy wzrastającem zapotrzebowaniem witaminy B (w miarę zwiększania się pracy), a hipertrofją kory nadnerczy. Inaczej mówiąc usiłowali ustalić na drodze doświadczalnej tę ilość witaminy B (stosowali wyciąg z drożdży wg. *Roscoe)*, którаby mogła zahamować hipertrofję kory nadnerczy, występującą na skutek wytężonej pracy fizycznej.

Wyniki doświadczeń wykonanych na dużej ilości szczurów są następujące:

1. Dodatkowa praca fizyczna powoduje zawsze hipertrofję kory nadnerczy u szczurów, karmionych w ten sposób, by bez pracy fizycznej djeta gwarantowała stały przyrost wagi ciała, a zarazem nie dawała hipertrofji nadnerczy.

2. Można uniknąć pojawiania się hipertrofji, jeżeli do pożywienia dodawać pięciokrotną ilość witaminy B w porównaniu z normalną dawką dzienną.

Na podstawie tych wyników, jak również danych z literatury, autorzy wyobrażają sobie, że wzmożona przemiana materji związana z wytężoną pracą fizyczną stawia wielkie wymagania nadnerczom. Sprostać mogą one tylko pod warunkiem wystarczającej ilości witaminy B w pożywieniu. Jeżeli ten warunek nie jest spełniony — występuje zwiększanie się objętości tkanki interrenalnej.

Wyżej opisane zjawiska występują nietylko u zwierząt rosnących, ale również i u dorosłych.

St. Gartkiewicz.

B. DANILEWSKY i *A. WOROBJEW.* — DZIAŁANIE NA ODLEGŁOŚĆ PRĄDÓW ELEKTRYCZNYCH WIELKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI NA NERWY.

(Pflüg. Arch. B. 236. 1935).

B. Danilewsky od czasów odkrycia telegrafu bez drutu zajmował się sprawą działania na odległość oscylującego pola elektrycznego na nerwy. Działanie na odległość nazywa autor „elektro-kinetycznem" dla odróżnienia od pospolicie stosowanych zabiegów kontaktowych, podczas których elektrody są bezpośrednio zetknięte z badanym nerwem. Przy działaniu na odległość fale elektryczne wysyłane w przestrzeń z jednej elektrody mogą wywołać pobudzenie w nerwie znajdującym się w zasięgu pola elektrycznego, nawet gdy jest umieszczony w dużej odległości od źródła prądów wysokiego napięcia; w tym przypadku pobudzenie powstaje naskutek indukcji, która wytwarza w nerwo-mięsnym preparacie dostatecznie silne

prądy. (Zjawisko to jest analogiczne do jednobiegunowego drażnienia cewką indukcyjną).

Wśród elektroterapeutów rozpowszechnione jest przekonanie, że prądy „wysokiej częstotliwości" nie mogą powodować pobudzenia mięśni i nerwów (np. *d'Arsonval* sądził, że powodem braku reakcyj pomimo wysokiego woltażu jest nadmiernie wielka czyli częsta zmiana kierunku działającego prądu). Słuszność przypuszczenia *d'Arsonvala* w ostatnich czasach wykazali *Cluzet* i *Chevalier,* którzy zastosowali do drażnienia przerywane prądy (uzyskiwane zapomocą elektronowych detektorów) o bardzo częstym rytmie przerw, ale zato jednokierunkowe. Pomimo, iż używali napięcia dwukrotnie mniejszego niż *d'Arsonval,* zapomocą tych prądów powodowali pobudzenie mięśni i nerwów (ciekawe, że nie wywoływały te prądy bólowego czucia). Prócz tego *Einthoven, J. V. Kries* i inni fizjolodzy udowodnili, że prąd „wysokiej częstotliwości", a więc dwukierunkowy może powodować pobudzenie nerwów i mięśni, ale pod warunkiem użycia odpowiednio wysokiego napięcia. W odniesieniu do prądów *Tesla-d'Arsonvala* to już *Danilewsky* wykazał, że powodują one zmiany pobudliwości, zwiększając pobudliwość lub po silniejszem zadziałaniu — zmniejszając. *E. Schliephake* zauważył, iż szczury umieszczone w obrębie pola krótkofalistych kondensatorów okazują wybitnie powiększoną ruchliwość; natomiast po dłuższym czasie działania występuje senność.

Autorzy niniejszej pracy stosowali prądy i aparaturę używane w djatermji (prądy o częstotliwości od 500.00 — 1.000.000 Hertzów) i badali ich działanie na nerwy z odległości (zastosowali więc elektrokinezę).

Wstępne doświadczenia wykonano na kotach i królikach. Używano aparatów zwanych pod nazwą „Mediophor" lub „Thermoflux". Szklane elektrody umieszczano w odległości 40—50 cm, a nawet 400 cm. Nawet przy b. bliskiem umieszczeniu elektrod (1—2 cm) nie uzyskiwano pobudzenia; zwiększając napięcie prądu uzyskiwano tylko iskrzenie, które samo przez się drażniło preparat. Z drugiej strony można było stwierdzić wpływ prądu „djatermicznego" — stosowanego z odległości na preparat: powodował on zmiany pobudliwości.

Szczegółowe doświadczenia wykonane były na żabich preparatach nerwowo-mięsnych. Preparat umieszczano na płytce parafinowej; ścięgno łączono z miografem, pod nerw podkładano platynowe elektrody od cewki indukcyjnej (umieszczonej zdaleka); preparat zapomocą specjalnego drutu łączono z ziemią ew. kondensatorem o wielkiej pojemności. W obwód cewki pierwotnej włączano metronom — próbne pobudzenia stosowano oszczędnie t. j. raz lub dwa na minutę. Preparat umieszczano w pobliżu jednej lub dwu szklanych, kondensatorowych elektrod.

Najważniejszy wynik, to niewątpliwe stwierdzenie, że elektromagnetyczne fale, wychodzące ze szklano-kondensatorowej elektrody djatermicznego przyrządu — pomimo że są słabe — wywołują zwiększenie pobudliwości nerwu. Zwiększenie pobudliwości szybko mija po zaprzestaniu „naświetlania". Prócz tego stwierdzono, że:

1) Połączenie preparatu z ziemią zwiększa działanie „naświetlania".

2) Zwiększenie pobudliwości pod wpływem „naświetlania" występuje natychmiast (w obrębie kilku dziesiątych sekundy po zamknięciu obwodu djatermicznego prądu).

3) Jeżeli prąd działa za silnie — to zamiast zwiększenia pobudliwości — ujawnia się przeciwny skutek, t. j. zmniejszenie pobudliwości. Podobnie reagują również nerwy zwierząt ciepłokrwistych.

Nieco inaczej dzieje się z pobudliwością odruchową: pod wpływem fal elektromagnetycznych ujawnia się przedewszystkiem depresja.

St. Gartkiewicz.

PRZEGLĄD FIZJOLOGJI RUCHU

REVUE DE PHYSIOLOGIE DU MOUVEMENT

(CINÉPHYSIOLOGIE)

TREŚĆ:

SOMMAIRE:

WARUNKI PRENUMERATY:

Rocznie 20 zł. — Półrocznie 10 zł. — Zagranicą: Rocznie $ 3.

Dla studentow medycyny, C. I. W. F. i Stud. Wych. Fiz. Uniwers. Poznańsk. i Krakowsk. prenumerata roczna 16 zł.

Konto P. K. O. 22888.

Ogłoszenia przed i za tekstem: 1/1 strony 200 zł. — 1/2 strony 120 zł. — 1/4 strony 70 zł. — 1/8 strony 40 zł.

Drukarnia
PIOTR PYZ i S-ka
w Warszawie
Miodowa 8